Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Sander Toomla

# Liikuntahallien energiankulutuksien muodostuminen ja energiatehokkuus

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 20.10.2015
Valvoja: Professori Jarek Kurnitski
Ohjaaja: Jarek Kurnitski

**Aalto-yliopisto**
**Insinööritieteiden korkeakoulu**

**Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO**
**www.aalto.fi**

**Diplomityön tiivistelmä**

**Tekijä** Sander Toomla

**Työn nimi** Liikuntahallien energiankulutuksien muodostuminen ja energiatehokkuus

**Koulutusohjelma** Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

**Pää-/sivuaine** Rakennusmateriaalit ja –fysiikka/talotekniikka **Koodi** RAK-43

**Työn valvoja** Jarek Kurnitski

**Työn ohjaaja(t)** Jarek Kurnitksi

**Päivämäärä** 20.10.2015 **Sivumäärä** 118+6 **Kieli** Suomi

**Tiivistelmä**

Tämä diplomityö käsittelee Suomessa sijaitsevien liikuntahallien energiatehokkuutta ja niiden energiankulutuksen jakautumista rakennuksen sisällä. Työn tavoite on luoda kuva keskimääräisestä liikuntahallista ja sen ominaisuuksista sekä energiankulutuksesta. Lisäksi työssä tarkastellaan Case-luonteisesti tarkemmin yhtä pääkaupunkiseudulla sijaitsevaa liikuntahallia, jolle esitetään mallinnuksen avulla toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. Työssä esitetyt ratkaisut ovat periaatteellisia, eikä järjestelmiä ja niiden parametreja ole optimoitu energiatehokkuuden maksimoimiseksi.

Keskimääräisen liikuntahallin pinta-ala on noin 2600 brm2, lämpöenergian ominaiskulutus on 125,8 kWh/brm2,a ja sähköenergian kulutus 103,9 kWh/brm2,a. Tarkasteltujen liikuntahallien ominaiskulutusten varianssi on erittäin suuri. Kun tarkastelun ulkopuolelle jätetään kaksi energiatehottominta ominaiskulutusta, laskee lämpöenergian ominaiskulutus arvoon 62,2 kWh/brm2,a ja sähkön ominaiskulutus arvoon 77,9 kWh/brm2,a. Jälkimmäiset arvot kuvaavat paremmin nykyaikaisia ja uudempia liikuntahalleja. Keskimääräisesti liikuntahalleissa kulutettava lämpöenergia käytetään pääasiallisesti tilalämmitykseen (42 %) sekä ilmanvaihdon lämmitykseen (41 %). Lämpimän käyttöveden osuus lämmönkulutuksesta on noin 12 %. Keskimääräisesti kulutettu sähköenergia käytetään pääasiassa tilojen valaistukseen (45 %) sekä LVI-laitteiden käyttöön (43 %). Suurimman osan valaistuksen energiankulutuksesta muodostaa liikuntatilan valaistus.

Liikuntahallien energiankulutusten suuri varianssi osoittaa, että liikuntahallien energiatehokkuudessa on merkittävää säästöpotentiaalia. Nykyaikaisilla menetelmillä useiden liikuntahallien energiankulutusta voidaan pienentää merkittävästi kohtuullisilla tai jopa pienillä investoinneilla. Energiatehokkuuden keskeisessä roolissa ovat hallin ilmanvaihdon toteutus tarpeenmukaisesti sekä tehokas ilmanvaihdon lämmön talteenotto ja ilman jako. Työn Case-kohteena tarkastellussa liikuntahallissa ilmanvaihdon muuttaminen vakioilmavirtaisesta tarpeenmukaiseksi pienensi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta noin 20 %. Liikuntahallien energiatehokkuuden parantamisessa on aina huomioitava myös toimenpiteiden vaikutukset rakennuksen kosteustekniseen toimintaan kosteus- ja homeongelmien estämiseksi.

**Avainsanat** Liikuntahalli, palloiluhalli, energiatehokkuus, tarpeenmukainen ilmanvaihto

**Author** Sander Toomla

**Title of thesis** Energy efficiency and energy usage distribution in sports halls

**Degree programme** Structural Engineering and Building Technology

**Major/minor** Building Materials and Building Physics/Building Services Engineering **Code** RAK-43

**Thesis supervisor** Jarek Kurnitski

**Thesis advisor(s)** Jarek Kurnitski

**Date** 20.10.2015 **Number of pages** 118+6 **Language** Finnish

**Abstract**

This master's thesis discusses energy efficiency and energy usage distribution in sports halls located in Finland. The aim of this study is to describe an average sports hall and its properties as well as its energy performance. In addition the study includes a Case-study of a sports hall located in the capital region of Finland. Means to improve the energy efficiency of this sports hall are presented via IDA-ICE simulation. The solutions presented in this study are principled and neither the systems nor their parameters have been optimized to maximize the energy performance.

The surface area of an average sports hall is about 2600 brm2. The specific consumption of an average sports hall is 125.8 kWh/brm2,a for heating and 103.9 kWh/brm2,a for electricity. The variation of the specific consumptions presented in this study is vast. When two of the most inefficient specific consumptions were excluded from the calculations the specific consumptions of an average sports hall decreased to 62.2 kWh/brm2,a for heating and 77.9 kWh/brm2,a for electricity. Modern and new sports halls are better described by the latter values. On average heating energy used in sports halls is used for space heating (42 %) and ventilation heating (41 %). Heating energy consumption of hot water is about 12 %. Electricity on average is mainly used for lighting (45 %) and HVAC-systems (43 %). The lightings energy consumption is dominated by the lighting of the sports area.

The vast variation of the specific energy consumptions in sports halls shows that there is significant potential for energy savings in these facilities. The energy consumption of sports halls can be significantly improved by using the technology and solution already available through reasonable to minor investments. The key factor of an energy efficient sports hall is a demand based ventilation system combined with efficient heat recovery and air distribution. In the Case-study presented in this thesis the act of updating the constant air flow ventilation to a demand based (CO2) ventilation resulted in a 20 % decrease in the total energy consumption of the building. Buildings moisture technical properties have to be always studied in conjunction with its energy performance to prevent moisture and mold related problems.

**Keywords** Sports halls, gymnasium, energy efficiency, demand based ventilation

# Alkusanat

*Tämä diplomityö on tehty osana Liikuntahallien kosteudenhallinta ja energiatalous – kehittämishanketta. Työn rahoittaja on Opetus- ja kulttuuriministeriö. Työn valvojana ja ohjaajana toimi työn alkuvaiheessa Aalto-yliopiston professori Martti Viljanen, joka valitettavasti menehtyi työn kirjoituksen aikana. Uudeksi työn valvojaksi ja ohjaajaksi tuli tämän jälkeen Aalto-yliopiston professori Jarek Kurnitski.*

*Haluan kiittää kaikkia tämän diplomityön tekemisissä mukana olleita henkilöitä kärsivällisyydestä ja joustavuudesta työn aikana kehittyneeseen epämiellyttävään tilanteeseen ja viivästyneeseen työn valmistumiseen liittyen. Erityisesti haluan kiittää Opetus- ja kulttuuriministeriön edustajia, professori Jarek Kurnitskia sekä Summahallin henkilökuntaa yhteistyöstä.*

Espoo 20.10.2015

Sander Toomla

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä
Abstract
Alkusanat
Sisällysluettelo ... 5
1 Johdanto ... 7
2 Liikuntahallien tilavaatimukset ja rakennusfysikaalinen toiminta ... 8
2.1 Liikuntahallien tilavaatimukset ja sisäilmasto ... 8
2.2 Ilmanvaihto ... 10
2.2.1 Yleistä ... 10
2.2.2 Ilmanjako ... 11
2.2.3 Lämmön talteenotto ... 12
2.2.4 Ilmamäärät ja ilman käsittely ... 13
2.2.5 Ilmanvaihdon ohjaus ... 16
2.3 Ilman kerrostuminen ja painesuhteet korkeissa tiloissa ... 17
2.4 Liikuntahallien kosteustekninen käyttäytyminen ... 19
2.5 Liikuntahallien arkkitehtuurin vaikutus energiatehokkuuteen ... 21
2.6 Liikuntahallien käyttöaste ja -profiili ... 23
3 Liikuntahallien sisäilmaston ylläpidon energiankulutus ... 28
3.1 Energiatehokkuusvaatimukset liikuntahalleille ... 29
3.2 Motivan julkaisema palvelusektorin ominaiskulutusjakauma ... 31
3.3 Liikuntahallien energiankulutuksen esimerkkikohteita ... 32
3.3.1 Pirkkalan liikuntahalli ... 32
3.3.2 Mikkelin monitoimihallin simuloitu energiankulutus ... 35
3.3.3 Poltinahon salibandyhalli ... 38
3.3.4 Tennishallien empiiriset kulutukset ja esimerkkihalli ... 41
3.3.5 Sulkavan liikuntahalli ... 47
3.3.6 Yhteenveto hallien energiankulutuksista ... 48
3.4 Kaukolämmön kulutus liikuntahalleissa ... 53
3.5 Sähkön kulutus liikuntahalleissa ... 53
3.6 Liikuntahallien ilmanvaihtoratkaisut ... 55
3.7 Liikuntahallien energian hankinta ... 56
3.8 Liikuntahallien jäähdytys ... 58
4 Case-kohde Summahalli Espoon Tapiolassa ... 59
4.1 Energiatehokkuuden perustiedot ... 59
4.2 Toteutunut energian ja veden vuosikulutus ... 62
4.3 Kuukausitason kulutustietojen suhde ulkoilman lämpötilaan ... 64
4.4 Mittaustulokset ilmanvaihdosta ... 66
4.5 Muut kulutusta kuvaavat tarkastelut ... 72
5 Summahallin mallinnus ja laskennallinen tarkastelu ... 74
5.1 Summahallin energiatekninen lähtötilanne ... 74
5.2 Summahallin simuloitu energiankulutus erilaisten tehostamistoimenpiteiden jälkeen ... 82
5.2.1 Liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan hallinnan vaikutus energiankulutukseen. ... 82
5.2.2 Liikuntatilan ilmanvaihdon puhaltimien käyttö tarpeenmukaisesti perustuen lämmitystarpeeseen ... 85
5.2.3 Liikuntatilan ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus perustuen sisäilman hiilidioksidipitoisuuteen ... 87
5.2.4 Tarpeenmukainen, hiilidioksidiohjattu ilmanvaihto koko rakennuksessa 89

5.2.5 Liikuntatilan lämmityksen muuttaminen patterilämmitteiseksi sekä tarpeenmukainen ilmanvaihto kaikissa tiloissa ... 93
5.2.6 Rakenteiden lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen ... 95
5.3 Mallinnuksen johtopäätökset ... 97
6 Muiden tässä tutkimuksessa mukana olleiden liikuntahallien tietoja ... 98
6.1 Agricola-halli ... 98
6.2 Lammin liikuntakeskus ... 101
6.3 Mäntynummen liikuntahalli ... 102
6.4 Susi Training Center, entinen Kisakallion tennishalli ... 107
7 Keskimääräinen liikuntahalli ja sen ominaisuudet ... 110
7.1 Keskimääräisen liikuntahallin dimensiot ja ominaiskulutukset ... 110
7.2 Energiankulutuksen jakautuminen keskimääräisessä liikuntahallissa ... 115
8 Yhteenveto ... 118
Lähteet ... 120
Liite 1. Esimerkkejä tennishallien valaistuksesta ... 123
Liite 2. Summahallin energian ja veden kulutus kuukausitasolla ... 124
Liite 3. Summahallin ilmanvaihdon automaatiokaaviot ... 126
Liite 4. Summahallin lähtötilanteen mallinnuksen sisäänsyöttötiedot ... 127

# 1 Johdanto

Miellyttävien ja tarkoituksenmukaisten olosuhteiden luominen on rakennetun ympäristön avaintekijä. Rakennuksen käyttötarkoitus määrää tavoitellut sisäympäristön olosuhteet ja ohjaa täten rakennusprosessia.

Liikuntahalli ei ole käsitteenä yksiselitteisesti määritelty. Liikuntahallilla tarkoitetaan tässä työssä liikuntarakennusta, jonka pinta-ala on alle 4000 $brm^2$ ja jossa voidaan harrastaa esimerkiksi koripalloa, tennistä tai voimistelua.

Liikuntahallit ovat muusta rakennuskannasta merkittävästi poikkeavia rakennuksia niin niiden dimensioiden kuin sisäympäristön vaatimusten kannalta. Hallien liikuntatilat ovat suuria, yhtenäisiä tiloja, joiden ominaisuudet määräytyvät harrastettavien lajien vaatimusten mukaan. Liikuntahalleihin kuuluu käytännössä aina myös oheistiloja, joiden toiminta on hyvin erilaista verrattuna liikuntatilaan.

Hyvässä liikuntahallissa sekä liikuntatilat että oheistilat on toteutettu tarkoituksenmukaisesti ja tehokkaasti. Hallin käyttötarkoitus on otettava huomioon kaikissa rakennuksen suunnittelun ja toteutuksen vaiheissa hyvän lopputuloksen varmistamiseksi. Käytännössä huomiota on kiinnitettävä erityisesti hallin vapaaseen korkeuteen, valaistukseen sekä ilmanvaihtoon.

Liikuntahallien energiatehokkuutta on tutkittu verrattain vähän, eikä selkeää kuvaa hallien energiateknisestä toiminnasta ole saatavissa. Etenkin pohjoisen kylmissä ilmastoissa toimivia liikuntahalleja on tutkittu vähän.

Tämän työn tavoite on muodostaa kokonaiskuva liikuntahallien energiatehokkuudesta ja niiden energiankulutuksen jakautumisesta. Tutkimuksessa keskitytään Suomessa sijaitseviin liikuntahalleihin ja niiden toimintaan. Kerättyjen tietojen pohjalta muodostetaan kuva keskimääräisen liikuntahallin ominaisuuksista. Tämän lisäksi etsitään konkreettisia ratkaisuja Tapiolan Summahallin energiatehokkuuden parantamiseksi.

Työssä käsitellään liikuntahallien keskeisiä ominaisuuksia ja niiden vaikutuksia hallien energiatehokkuuteen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan. Kokonaiskuvan luomiseksi käsitellään niin fysikaalisten ilmiöiden kuin arkkitehtuurin ja käyttöprofiilien vaikutuksia rakennuksen toimintaan.

Toteutuneita ja laskennallisia liikuntahallien energiankulutuksia on kerätty kirjallisuuskatsauksella. Kokonaisuudessaan käytettävissä olevaa materiaalia on vähän, sillä liikuntahallien kulutustietoja ei julkaista keskitetysti. Kulutustiedot ovat todennäköisesti vain hallihenkilökunnan tiedossa ja käytössä.

Työssä käytettiin viidestä Uudenmaan alueella sijaitsevasta liikuntahallista kerättyjä tietoja. Saadut tiedot vaihtelivat hallikohtaisesti. Kolmen liikuntahallin kohdalla hyödynnettiin myös mittausdataa liikuntahallin ilmanvaihdosta vuosilta 2013–2014. Tapiolassa sijaitsevasta Summahallista saatiin selkeästi eniten tietoja ja kyseinen halli valittiin työn Case-kohteeksi.

Summahallin toimintaa tarkasteltiin saatujen tietojen lisäksi myös IDA-ICE simuloinnilla. Mallinnuksella muodostettiin kuva hallin lähtötilanteesta sekä erilaisten toimenpiteiden vaikutuksista rakennuksen energiankulutukseen.

Liikuntahallin energiatehokkuuden keskeisin yksittäinen tekijä on rakennuksen ilmanvaihto liikuntatilassa. Hallin suuren tilavuuden ansiosta käsiteltävät ilmamäärät ovat yleensä suuria, jolloin ilmanvaihdon rooli lämpö- ja sähköenergian kulutuksessa korostuu.

Suomessa on laskutavasta riippuen vajaa 700 liikuntahallia. Hallien tarkka lukumäärä riippuu vahvasti siitä, mikä rakennus määritellään liikuntahalliksi. Liikuntarakennusten laajan käyttötarkoituksien varianssin takia lukumäärät ovat vaihtelevia. Liikuntapaikat.fi sivuston (LIPAS) mukaan suomessa on yhteensä 698 liikuntahallia. (Halleista 622 lasketaan kategorioihin: monitoimihalli/areena, liikuntahalli, salibandyhalli, sulkapallohalli, squash-halli ja tennishalli. Loput liikuntahallit kuuluvat kategorioihin: petanque-halli, skeittihalli ja jalkapallohalli. Liikuntahalli-alakategoriaan kuuluu 302 liikuntahallia.) Liikuntahallien lisäksi Suomessa on yli 3200 liikuntasalia, joista suuri osa toimii koulujen yhteydessä. (Jyväskylän Yliopisto, 2015) Tämä tutkimus keskittyy liikuntahalleihin, mutta samoja periaatteita energiatehokkuuden parantamiseksi voidaan suurilta osin käyttää myös liikuntasaleissa ja liikunta-areenoilla.

Tämä työ on tehty yhteistyössä Opetus- ja kulttuuriministeriön kanssa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää liikuntahallien energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan edistämiseksi ja parantamiseksi sekä jatkotutkimuksiin.

# 2 Liikuntahallien tilavaatimukset ja rakennusfysikaalinen toiminta

## *2.1 Liikuntahallien tilavaatimukset ja sisäilmasto*

Liikuntahallien suunnittelun lähtökohtana on aina niiden käyttötarkoitus. Tilan kokoon ja käytettäviin järjestelmiin vaikuttavat eniten liikuntahallissa harrastettavat lajit sekä tilan monikäyttöisyys. Liikuntahalli kannattaa yleensä suunnitella muuntojoustavaksi ja monia lajeja palvelevaksi tilan käyttöasteen parantamiseksi, mutta perusteeton ylimitoitus ei ole kannattavaa.

Tilojen monikäyttöisyys luo edellytykset korkealle käyttöasteelle. Liikuntahallien suunnittelun tulisi palvella monikäyttöisyyttä aina rakennuksen sijoituksesta teknisiin ratkaisuihin asti. Mitoittamalla liikuntahalli mahdollisimman joustavaksi, voidaan sitä käyttää erilaisten urheilu- ja yleisötapahtumien järjestämiseen. Hallitilan jakomahdollisuus alaslaskettavilla väliseinillä/verhoilla tehostaa tilan käyttöä ja mahdollistaa eri lajien samanaikaisen harrastamisen. Liikuntahalliin suunniteltu näyttämö ja katsomot sekä siirrettävät tuolit mahdollistavat myös hallin käytön juhlatilaisuuksissa. Usein liikuntahallin sijoittaminen koulurakennuksen yhteyteen on kannattavaa, sillä tällöin tila on tehokkaasti koulun käytössä päivisin, jolloin muu kysyntä on vähäistä (Häyrinen, 2013).

Koulun yhteyteen rakennettava liikuntasali voidaan suunnitella myös paremmin liikuntakäyttöä palvelevaksi, jos koulun juhlatilana voidaan käyttää esimerkiksi auditoriota. Liikuntasalit eivät sovellu hyvin juhlakäyttöön, sillä liikuntasalien ja juhlasalien akustiset vaatimukset ovat hyvin erilaisia, jolloin auditorion käyttö juhlatilaisuuksissa saattaa olla perusteltua. (Opetus- ja Kulttuuriministeriö, 2012)

Liikuntahallin lattiapinta-alaan ja korkeuteen vaikuttavat eniten hallissa harrastettavat lajit. Eri urheilulajeilla on hyvin erilaiset tilavaatimukset niin (peli)kentän pinta-alan kuin hallin vapaan korkeuden suhteen. Liikuntahallin suunnittelun alkuvaiheessa on kiinnitettävä huomiota siihen, mitä lajeja hallissa tullaan harrastamaan. Urheilulajien tilavaatimukset voivat vaikuttaa myös rakennuksen muihin rakenteellisiin vaatimuksiin. Esimerkiksi kattoon kiinnitettävät suuret kuormat vaikuttavat kattorakenteiden suunnitteluun. Rakennuksen runkoon vaikuttavat tilavaatimukset on huomioitava heti rakennuksen suunnittelun alkuvaiheessa, sillä niihin on vaikea vaikuttaa jälkikäteen.

Liikuntahallin dimensioiden lisäksi hallin käyttötarkoitus vaikuttaa myös hallin pintarakenteisiin ja talotekniikkaan. Liikuntahallit, missä pelataan pallopelejä, on suunniteltava siten, että niiden sisäpinnat kestävät palloniskuja. Tämä vaikuttaa esimerkiksi ikkunoiden suunnitteluun, sillä ikkunoiden pitää olla joko iskuja kestäviä tai suojattuja muilla tavoin. Suojaus koskee myös valistusta ja muita taloteknisiä järjestelmiä. Hallitila tulisi suunnitella myös siten, ettei siinä ole ulokkeita joihin voidaan törmätä. Tämä pitää huomioida erityisesti seinien suunnittelussa. (Rakennustieto, 2014)

Tavanomaisessa liikuntahallissa ei yleensä esiinny erityisvaatimuksia sisäilmaston olosuhteille. Käytännössä liikuntahalli on suuri yhtenäinen korkea lämmitetty tila, joka luo suotuisat olosuhteet sisäliikunnalle. Sisäilman lämpötila voidaan liikuntahallissa pitää normaalia sisälämpötilaa alhaisempana. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2012) mukaan liikuntahallin sisäilman lämpötilan ohjearvo lämmityskaudella on 18 °C. Normaalia 21 °C:tta alhaisempi sisälämpötila laskee hallin lämpöhäviöitä huomattavasti ja samalla parantaa urheilijoiden mukavuutta tilassa. Alhaisempi sisälämpötila vähentää urheilijoiden hikoilua.

Hallitilan valaistus on suunniteltava käyttötarkoituksen mukaisesti. Valaistuksen suunnittelussa kiinnitetään huomio valaistuksen riittävyyteen ja tasaisuuteen. Korkeimmat valaistustasot vaaditaan kilpaurheilussa ja tapahtumien televisioinnissa. Erityisen tärkeä on esiintymis- ja kilpailualueen valistus. Valaistuksen tulisi olla tasainen sekä tilan pinnoilla että ilmatilassa, jotta se ei vaikuta peli- tai urheiluvälineen seuraamiseen. Valaistusvoimakkuutta tulisi pystyä säätämään tarpeenmukaisesti. Valaistus on suunniteltava häikäisemättömäksi ja tarvittaessa tilan ikkunat on voitava pimentää. Myös luonnonvalon käyttö on suotavaa, mikäli se on mahdollista. Jos liikuntatila on jaettavissa osiin, on valaistuksen toimittava itsenäisesti jaetun tilan eri osissa (Opetus- ja Kulttuuriministeriö, 2012)

Liikuntahallien akustiset ongelmat liittyvät usein tilan kaikuisuuteen. Tilan jälkikaiuntaaika on pyrittävä pitämään mahdollisimman lyhyenä, joka parantaa tilan akustisia ominaisuuksia. Tilassa on oltava riittävästi akustista verhousta, joka lyhentää jälkikaiuntaaikaa. Sopivimpia pintoja akustisille verhouksille ovat katot ja seinien yläosat. Liikuntahallin käyttö yleisötilaisuuksissa on huomioitava akustisessa suunnittelussa. (Rakennustieto, 2014)

Liikuntahalliin kuuluu liikuntatilojen lisäksi oheistiloja. Näitä ovat esimerkiksi pukuhuoneet ja aulatilat. Liikuntahallin oheistilojen tilavaatimukset ovat hyvin erilaisia kuin liikuntatilan. Esimerkiksi pukuhuoneiden lämpötilan suunnitteluarvo on liikuntahallin lämpötilaa huomattavasti korkeampi ja tilassa on huomattavaa kosteusrasitusta. Oheistilat kuuluvat kuitenkin keskeisesti liikuntahallin toimintaan kokonaisuutena.

Rakennuksen oheistilojen määrä ja tarve on aina kohdekohtaista. Oheistilojen riittävyys on edellytys käyttäjien viihtyvyydelle. Energiatehokkuuden näkökulmasta oheistilat ovat kuitenkin toissijaisia, sillä niissä kulutetaan suhteellisesti huomattavasti vähemmän energiaa kuin liikuntatilassa.

Liikuntahalleissa on yleensä kiinnitettävä huomiota materiaalivalintoihin muita rakennuksia tarkemmin. Keskeisin materiaalivalinta on monien hallien kohdalla liikuntatilan lattiamateriaalin ja toteutuksen valinta. Eri urheilulajit ja harrastukset asettavat erilaiset vaatimukset lattian kimmoisuudelle ja kitkalle, joka tulee ottaa huomioon hallin suunnittelussa. Lisäksi liikuntatilan muut materiaalit ja pinnat tulee toteuttaa esimerkiksi sulkapallohallien kohdalla niin, että ne eivät häiritse pelivälineen seuraamista (Rakennustieto Oy, 1998). Yleisesti liikuntatilan materiaalien ja värien tulee olla neutraaleja. Liikuntatilan lisäksi muissa tiloissa, kuten puku- ja pesutiloissa on kiinnitettävä huomiota materiaalivalintoihin esimerkiksi siivouksen ja kulutuskestävyyden näkökulmasta. Onnistuneet materiaalivalinnat nostavat tilan viihtyisyyttä.

## *2.2 Ilmanvaihto*

### 2.2.1 Yleistä

Rakennuksen ilmanvaihdolla luodaan edellytykset hyvälle sisäilmastolle. Raikas ja terveellinen sisäilma, jossa ei esiinny esimerkiksi liian korkeita tai matalia lämpötiloja eikä epämiellyttäviä hajuja tekee sisäilmastosta miellyttävän. Ilmanvaihtojärjestelmä on keskeisessä osassa hyvän sisäilmaston luomisessa.

Ilmanvaihtoa tarvitaan kaikissa rakennuksissa. Sisätiloissa epäpuhtauksia syntyy rakennuksissa tapahtuvasta toiminnasta sekä rakennusmateriaaleista. Liikuntahallien tapauksessa suurimpia epäpuhtauksien tuottajia ovat tilan käyttäjät sekä rakennusmateriaalit. Ihmisperäisistä epäpuhtauksista tunnetuin on hiilidioksidi, jota syntyy ihmisen hengityksestä. Tämän lisäksi ihmisperäisiä epäpuhtauksia ovat kosteus ja erilaiset hajut.

Rakennusmateriaalien rooli epäpuhtauksien lähteenä on keskeinen kaikissa tavanomaisissa tiloissa, mukaan lukien liikuntahalleissa. Vaikka rakentamisessa pyritään käyttämään puhtaita ja vähän kemikaaleja sisältäviä materiaaleja, ovat rakennusmateriaalit keskeinen epäpuhtauden lähde sisätiloissa. Materiaaleissa käytettävät liimat, maalit ja muut käsittelytuotteet tuottavat huomattavia määriä epäpuhtauksia sisäilmaan. Rakennusmateriaaliperäiset TVOC-emissiot ovat yleensä suurimmillaan heti rakennuksen valmistuttua, mutta laskevat tämän jälkeen huomattavasti ensimmäisten kuuden kuukauden aikana (Järnström & Saarela, 2005). Ilmanvaihdon tehtävä on poistaa sekä ihmis- että materiaaliperäiset epäpuhtaudet sisätiloista ja pitää haitallisten aineiden pitoisuudet hyväksyttävällä tasolla. Rakennuksen ilmanvaihto mitoitetaan aina sen käyttötarkoituksen mukaisesti.

Perinteisesti ilmanvaihto perustuu riittävään ulkoilmavirtaan, jolla sisäilmaa huuhdellaan. Puhdasta ulkoilmaa sekoitetaan sisäilmaan niin paljon, että sisäilman epäpuhtauspitoisuudet pysyvät hyväksyttävällä tasolla. Menetelmän edellytys on kuitenkin se, että ulkoilman on oltava selvästi puhtaampaa kuin sisäilman. Suomen olosuhteissa tämä ei yleensä ole ongelma, mutta ulkomailla tai tiheään asutuissa kaupungeissa ulkoilman laatu saattaa olla niin heikkoa, ettei se sovellu sellaisenaan sisäilman huuhtelemiseen. Varsinkin ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet saattavat muodostua ongelmaksi ilmanvaihdon suunnittelussa, joka tulee huomioida ilman suodattimien valinnassa.

Rakennuksen ilmanvaihto voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Vanhin ilmanvaihdon toteutustapa on painovoimainen ilmanvaihto, jossa tilassa on kaksi tai useampia läpivientejä rakennuksen vaipassa, josta ilma pääsee kulkemaan. Useimmiten tuloilmaelin sijoitetaan lähelle lattiapintaa ja poistoilmaelin lähelle katon rajaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ilman lämpenemiseen ja luonnolliseen liikkeeseen tilassa.

Toinen aikaisemmin yleisesti käytetty ilmanvaihdon toteutustapa on koneellinen poistoilmanvaihto. Siinä tilaan on tuotu poistoilmakanavat, joiden kautta likainen ilma poistetaan tilasta. Koneellisen poistoilman tuloilma tuodaan tilaan tuloilmaelinten kautta, jotka ovat sijoitettu esimerkiksi ikkunoiden yhteyteen tai lämmityspattereiden taakse.

Edellisten järjestelmien sijaan nykyisissä rakennuksissa käytetään melkein poikkeuksetta koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. Siinä sekä tulo- että poistoilmalle on asennettu omat kanavat, joka mahdollistaa ilmanvaihdon tehokkaan hallinnan. Kun ilma tuodaan ja poistetaan tilasta koneellisesti, voidaan rakenteet suunnitella ja toteuttaa entistä tiiviimmin, joka vähentää vuotoilmavirtoja ja täten energiankulutusta. Tiiviimmät rakennukset ovat myös kosteusteknisesti riskittömämpiä.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ilmamäärien hallittavuus mahdollistaa myös tilan painesuhteiden hallinnan. Koska lähtökohtaisesti lämpimän ja kostean sisäilman kulkeutuminen rakenteisiin ja sitä kautta ulos on vaarallisempaa kuin ulkoilman kulkeutuminen ulkoa sisälle, suunnitellaan ilmanvaihto siten, että tila on lievästi alipaineinen. Suunnitellun alipaineen suuruus on noin 5 Pa. Alipaineistus parantaa rakennuksen rakennusfysikaalista toimintaa, jota käsitellään tarkemmin kohdissa 2.3 ja 2.4.

### 2.2.2 Ilmanjako

Sisätiloissa ilmanjako voidaan suorittaa kolmella eri tavalla. Sekoittavassa ilmanjaossa ilma puhalletaan suurella nopeudella tilaan, jossa sen halutaan sekoittuvan tehokkaasti sisäilmaan. Tavoitteena on luoda koko oleskelutilaan yhtenäinen ja tasalaatuinen sisäilma. Sekoittavan ilmanjaon edellytyksiä ovat riittävä ilman sisäänpuhallusnopeus sekä oikosulkuvirtausten minimointi. Liikuntahallien kohdalla on kiinnitettävä erityistä huomiota ilman kunnolliseen sekoittumiseen, sillä esimerkiksi ilmalämmitteisessä hallissa on varmistettava, että tuloilmasuihku tuo ilmaa kaikkialle tilaan, etenkin oleskeluvyöhykkeelle.

Laminaarisessa ilmanjaossa pyritään samaan aikaan mäntävirtaus, joka poistaa kaikki epäpuhtaudet tilasta tehokkaasti sekoittamatta ilmaa keskenään. Ilma tuodaan ja poistetaan tilasta suurien pintojen kautta, joka mahdollistaa suurienkin ilmamäärien käytön ilman, että ilman nopeus muuttuisi häiritseväksi. Laminaarinen ilmanvaihto voi toimia sekä vaaka- että pystysuunnassa.

Syrjäyttävässä ilmanjaossa käytetään hyväksi ilman lämpötilaeroista johtuvaa kerrostumista ja liikettä. Yleensä sisäilmaan nähden alilämpöinen tuloilma johdetaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle, jossa se lämpenee ja alkaa nousta ylöspäin johtuen tiheyden muutoksesta. Kohoava ilma nostaa mukanaan ilman epäpuhtaudet kohti kattoa, jossa sijaitsee ilman poistokanavat. Ilmamassoja ei pyritä tässäkään tapauksessa sekoittamaan keskenään. Tilaan pyritään muodostamaan hyvän ilman oleskeluvyöhyke ja katon rajaan likaisen ilman vyöhyke. Likaisen ilman vyöhyke voidaan luoda myös tilan keskiosiin ohjaa-

malla tuloilmaa myös katon rajaan. Syrjäyttävä ilmanvaihto sopii parhaiten korkeisiin tiloihin. (Seppänen, 2008) Ilmalämmitteisissä liikuntahalleissa tuloilma on sisäilmaa lämpimämpää, jolloin ilman kerrostuminen on vähäisempää. Lämmin tuloilma kohoaa voimakkaasti ylöspäin samalla kun tuloilmaa viileämpi ilma painuu alaspäin. Tämä sekoittaa ilmamassoja huomattavasti.

Liikuntahalleissa voidaan edellä mainituista menetelmistä käyttää sekoittavaa tai syrjäyttävää ilmanvaihtoa. Myös näiden kahden osittainen yhdistäminen on mahdollista. Laminaarisen ilmanvaihdon käyttö ei ole suositeltavaa, sillä liikuntahallien ilmanlaadun kriteerit eivät yleensä ole niin korkeat, että se olisi perusteltua. Liikuntahallien korkeus mahdollistaisi syrjäyttävän ilmanvaihdon ja ilman kerrostumisen hyödyntämisen. Liikuntahallien suuret yhtenäiset lattiatilat kuitenkin vaikeuttavat syrjäyttävän ilmanjaon käyttöä, sillä ilman jako tilan keskiosiin on haastavaa. Syrjäyttävä ilmanvaihto vaatisi käytännössä tuloilmalaitteita keskelle liikuntasalia, koska alilämpöisen ilman puhaltaminen liikuntahallin sivuilta aiheuttaisi todennäköisesti tyytymättömyyttä mm. vedon muodossa. Tästä syystä sekoittava ilmanvaihto on yleisimmin käytetty ilmanjaon muoto myös liikuntahalleissa. Ilman kerrostumista voidaan osittain hyödyntää tuomalla tuloilmalaitteet mahdollisimman lähelle lattiaa ja sijoittamalla poistoilmalaitteet lähelle kattoa. Tuloilmalaitteet voidaan tuoda esim. katsomotilojen ja seinien vieressä lähelle oleskeluvyöhykettä, josta niiden ilmasuihkut voidaan ohjata haluttuun suuntaan. Ilma sekoitetaan tehokkaasti ja tilan ilmatila jää vapaaksi. Poistoilmalaitteet sijoitetaan lähelle kattoa, jossa ilma on lämpimillään, jolloin ilman lämpösisällön hyödyntäminen on tehokasta.

### 2.2.3 Lämmön talteenotto

Ulkoilmaa ei voida yleensä tuoda sellaisenaan sisätiloihin. Rakennuksen tuloilma on useimmiten jollakin tapaa käsiteltyä. Suomen ilmastossa ulkoilma on valtaosan vuodesta viileämpää kuin sisäilma, jolloin sitä pitää lämmittää. Lämmitys onkin suurin yksittäinen energiaa vaativa prosessi rakennuksen ilmanvaihdossa. Liikuntahalleissa ilmanvaihdon ilmamäärät ovat hallitilan suuren tilavuuden johdosta erittäin suuria, joka nostaa entisestään ilmanvaihdon lämmityksen osuutta kokonaisenergiankulutuksesta. Ilmanvaihdon lämmitystarve saattaa ilmalämmitteisessä liikuntahallissa olla avainasemassa koko rakennuksen energiatehokkuudessa.

Ilmanvaihdon lämmitystarvetta voidaan pienentää huomattavasti lämmön talteenotolla. Ilmanvaihdon lämmön talteenotto perustuu siihen, että korkealämpöisellä poistoilmalla esilämmitetään matalalämpöistä raitisilmaa, joka vähentää huomattavasti tuloilman lämmitystarvetta. Ilmanvaihdon lämmön talteenoton käyttö on mahdollista vain koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa, jossa sekä tulo- että poistoilma kulkevat hallitusti kanavia pitkin.

Käytetyimpiä ja täten yleisimpiä lämmön talteenottomuotoja ovat rekuperatiiviset ja regeneratiiviset lämmönsiirtimet. Rekuperatiivisista lämmön talteenottojärjestelmistä yleisimpiä ovat (ristivirta)levylämmönsiirtimet. Niissä ilmavirrat eivät sekoitu keskenään, mutta kulkevat saman lämmönvaihtimen kautta, jossa ilmavirtojen lämpötilat tasoittuvat. Tämä on yleisimmin varsinkin pienemmissä ilmanvaihtokoneissa käytettävä lämmön talteenoton muoto.

Toinen yleinen rekuperatiivinen lämmönsiirrin on vesiglykolipatteri. Siinä poistoilmakanavan ilma lämmittää lämmön talteenoton patteria, jonka lämmennyt vesiglykoliseos siirretään pumpulla tuloilmakanavan lämmön talteenoton lämmityspatterille, joka lämmittää tuloilmaa. Järjestelmän etuna on se, etteivät ilmavirrat varmasti sekoitu keskenään sekä se, ettei ilmanvaihtokanavien tarvitse sijaita samassa tilassa. Vesiglykoli lämmön talteenottoa käytetään yleensä korkean ilmanlaadun vaativissa tiloissa, kuten esim. sairaaloissa.

Regeneratiiviset lämmön talteenottojärjestelmät varastoivat ja luovuttavat energiaa vuorotellen lämpöä varastoivan massan avulla. Yleisimmin käytetty regeneratiivinen lämmön talteenotto on pyörivä kiekko. Pyörivän kiekon lämpötilahyötysuhde on yleensä parempi kuin rekuperatiivisten järjestelmien hyötysuhde. Haittana voi kuitenkin olla, että kiekko siirtää myös epäpuhtauksia ja kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Kosteuden siirtyminen voi kuitenkin jossakin tapauksissa, esim. talvella, olla myös positiivista. Pyörivää lämmön talteenottokiekkoa käytetään yleisesti suurien ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottona, johon myös liikuntahallit kuuluvat. Vaikka pyörivä lämmön talteenottokiekko vaatii sähköä kiekon pyörittämiseen, sen korkeampi hyötysuhde tekee siitä muihin järjestelmiin nähden kokonaisedullisemman ratkaisun liikuntahallien kohdalla.

Rekuperatiivisten ja regeneratiivisten lämmön talteenottolaitteiden käytössä on aina huomioitava poistoilman kosteuden kondensoituminen ulkoilman ollessa erittäin kylmää. Tilanteessa, jossa ulkoilman on niin kylmää, että se viilentää lämmön talteenotossa poistoilman kastepisteeseen, poistoilman sisältämä kosteus alkaa tiivistymään lämmönsiirtopinnoille, johon se jäätyy, jos pinnan lämpötila on alle 0 °C. Kosteuden jäätyminen lämmönsiirtopinnoille alentaa merkittävästi lämmön talteenoton tehokkuutta. Tiivistynyt kosteus aiheuttaa lisäksi myös viemäröintitarpeen. Yleisesti jäätymisen esto on rekuperatiivisissa laitteissa toteutettu lämmön talteenoton ohituksella, jolloin kylmä tuloilma ohjataan laitteen ohi. Regeneratiivisissa laitteissa ongelma estetään massan pyörimisnopeutta rajoittamalla. Kummassakin tapauksessa lämmön talteenoton hyöty kuitenkin menetetään suurilta osin. Ongelma voidaan estää myös esilämmittämällä tuloilmaa ennen lämmön talteenottoa, mutta tämä on suositeltavaa vain silloin, kun kondensoitumisen ja jäätymisen riski on olemassa. Tuloilman lämmitys ennen lämmön talteenottoa ilman tätä syytä madaltaa lämmön talteenoton hyötysuhdetta ja lisää energiankulutusta.

Liikuntahallin poistoilman lämmön talteenotossa voidaan hyödyntää myös lämpöpumppuja, joita voidaan käyttää yksinään tai yhdessä rekuperatiivisen tai regeneratiivisen lämmön talteenoton kanssa. Lämpöpumpun avulla poistoilman energiasisältö voidaan hyödyntää jopa kokonaan, mutta järjestelmä käyttää sähköä primäärienergiana. Lämpöpumput tuottavat kuitenkin korkealla hyötysuhteella lämpöenergiaa käyttämästään sähköstä. Niiden etu on myös se, että poistoilman viileneminen kastepisteeseen ei aiheuta järjestelmään ongelmia, kunhan kondensoituva vesi viemäröidään asianmukaisesti. Lämpöpumpun käyttöä lämmön talteenotossa tulee aina tarkastella kohdekohtaisesti ja osana ilmanvaihdon kokonaisuutta.

### 2.2.4 Ilmamäärät ja ilman käsittely

Ilmanvaihdon keskeinen tehtävä on epäpuhtauksien poisto sisäilmasta. Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisia määriä kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja. Keskeinen mitoituksen lähtökohta on sisäilman hiilidioksidipitoisuus, jonka arvo ei saa nousta yli 1200 ppm:n. Muita suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuuksia on esitetty taulukossa 1. Arvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jossa ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käyttöajan ilmavirralla. (Ympäristöministeriö, 2012)

*Taulukko 1. Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuden arvoja rakennuksen sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi. (Ympäristöministeriö, 2012)*

| Epäpuhtaus | Yksikkö | Suunnittelun ohjearvo |
|---|---|---|
| Ammoniakki ja amiinit | $\mu g/m^3$ | 20 |
| Asbesti | $kuitua/cm^3$ | 0 |
| Formaldehydi | $\mu g/m^3$ | 50 |
| Hiilimonoksidi | $mg/m^3$ | 8 |
| Hiukkaset $PM_{10}$ | $\mu g/m^3$ | 50 |
| Radon | $Bq/m^3$ | 200 (vuosikeskiarvo) |
| Styreeni | $\mu g/m^3$ | 1 |

Rakennuksen oleskeluvyöhykkeen lämpötilan tulee olla viihtyisä. Yleisesti lämmityskaudella oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään 21 °C:tta. Liikuntahallien kohdalla ohjearvo on 18 °C:tta. Kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleisesti 23 °C:tta. Rakennuksen käyttöaikana oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei yleensä saa olla korkeampi kuin 25 °C:tta. (Ympäristöministeriö, 2012)

Mikäli liikuntahallin sisäilmalle asetetaan lämpötilavaatimuksia myös kesälle, voidaan joutua jäähdyttämään sisäilmaa. Ensisijaisesti jäähdytystarve on minimoitava passiivisin ja rakenteellisin keinoin, mutta mikäli tämä ei riitä, on ilmanvaihtojärjestelmään suunniteltava myös jäähdytys. Ilman jäähdytys voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yleisin jäähdytystapa on kompressorijäähdytys, jossa ilmaa jäähdytetään lämpöpumpun avulla. Jäähdytyksessä syntyvää lauhdelämpöä voidaan käyttää hyväksi muualla, esim. lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Halliin voidaan suunnitella myös kaukojäähdytys, mikäli sen hyödyntämiseen on mahdollisuus. Liikuntahalleissa jäähdytyksen käyttö on kuitenkin harvinaista, sillä esimerkiksi kesän aikainen jäähdytys voidaan toteuttaa myös yötuuletuksella. Liikuntahallien jäähdytystä tarkastellaan tarkemmin kohdassa 3.8.

Rakennuksen ilmanvaihto mitoitetaan sen käyttötarkoituksen mukaisesti. Mitoitus tehdään lähtökohtaisesti henkilöperusteisesti. Mikäli henkilömääriin perustuvalle mitoitukselle ei ole riittäviä perusteita, voidaan mitoitus tehdä myös pinta-alalähtöisesti. Mitoituksen tavoitteena on taata hyvä sisäilman laatu käyttöaikana. Ilmanvaihdon toimintaa on voitava ohjata ja valvoa. Liikuntahallien ilmanvaihdon mitoituksessa on lisäksi huomioitava, että ilmalämmitteisissä halleissa ilmamäärät ovat myös lämmityksen osalta riittäviä.

Rakennuksen käyttöaikana on oleskelutiloihin johdettava riittävä ulkoilmavirta. Ohjearvo ulkoilmavirralle asuinrakennuksissa on 6 litraa sekunnissa henkilöä kohden. Urheilutilojen kohdalla henkilöperusteinen mitoitusarvo annetaan vain katsomotiloille, jossa se on 8 litraa sekunnissa henkilöä kohden. Liikuntatilojen kohdalla mitoitusarvot ovat lattiapinta-alaan verrannollisia. Kuntosaleille mitoitusarvo on 6 $(dm^3/s)/m^2$, liikuntasaleille 4 $(dm^3/s)/m^2$ ja liikuntahalleille 2 $(dm^3/s)/m^2$. Ohjearvo muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihdon suunnittelussa on, että käyttöajan ulkopuolella ulkoilmavirta on vähintään 0,15 $(dm^3/s)/m^2$. Esimerkiksi 2000 $m^2$ liikuntahallissa mitoitusulkoilmavirta käyttöaikana on 4 $m^3/s$ ja käyttöajan ulkopuolella ulkoilmavirran ohjearvo 0,3 $m^3/s$. (Ympäristöministeriö, 2012)

Tuloilman suodatustarve määräytyy sisäilmalle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Tavanomaisessa suunnittelussa käytettävä ilmansuodattimen luokka on

F7, joka vastaa 80 % erotusastetta 1,0 µm:n hiukkasilla suodattimen käyttöiän aikana. Taajama-alueiden ulkopuolella ja etäällä vilkasliikenteisistä liikenneväylistä sijaitsevien kohteiden tuloilman suodattimeksi riittää yleensä karkeasuodatin joka vastaa suodatinluokkaa G4. Liikuntahallin sijaitsevat yleensä lähellä asutusta, jolloin ilman suodatus toteutetaan vähintään luokan F7 suodattimilla.

Ilmanvaihdossa voidaan käyttää myös kierto- ja palautusilmaa. Etenkin käyttöajan ulkopuolella, kun epäpuhtauksien tuotto tilassa on vähäisempää, voidaan ilmaa kierrättää tilassa. Tilaan on kuitenkin tuotava samalla riittävä määrä ulkoilmaa. Ilman kierrätys vähentää huomattavasti ilman lämmitystarvetta ilmanvaihtokoneella. Kierto- ja palautusilmaa voidaan käyttää esimerkiksi ilmalämmitteisessä liikuntahallissa lämmityskaudella käyttöajan ulkopuolella, jolloin pystytään pitämään halli halutussa lämpötilassa käyttämällä vähemmän energiaa. Kiertoilman käyttö ei saa huonontaa sisäilman laatua haitallisessa määrin.

*Taulukko 2. Poistoilman luokitus perustuen sen sisältämiin epäpuhtauksiin. (Ympäristöministeriö, 2012)*

| Poistoilma-luokka | Kuvaus ja käytön rajoitus | Tilaesimerkki |
|---|---|---|
| 1 | Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä tai rakenteista.<br><br>Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi. | Toimitilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta. |
| 2 | Poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia.<br><br>Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin. | Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolat, joissa tupakointi kielletty. |
| 3 | Poistoilma tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua.<br><br>Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana. | WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, piirustusten kopiointitilat. |
| 4 | Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet.<br><br>Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana. | Ammattimaisessa keittiössä olevat:<br>-vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot,<br>-pesuloiden likapyykkitilat.<br>Autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarvikejätehuoneet, kemialliset laboratoriot, tupakointitilat sekä hotellitilat, joissa tupakointi on sallittu. |

Kierto- ja palautusilmana voidaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa. Tilojen poistoilma luokitellaan SRMK D2:ssa taulukon 2 mukaisesti neljään ryhmään. Palautusilmana voidaan käyttää vain poistoilmaluokan 1 ilmaa. Liikuntahallien suuren tilavuuden ja suhteellisen pienen ihmismäärän (urheilukäytössä) ansiosta hallin ilmassa on vain vähän epäpuhtauksia, jolloin se voidaan luokitella poistoilmaluokkaan 1. Tällöin hallin poistoilmaa voidaan käyttää palautusilmana, mutta se on yleensä suodatettava. Hallitilan ilmaa voidaan käyttää palautusilmana takaisin hallitilaan tai siirtoilmana esim. pukuhuoneiden ilmanvaihdossa. Yleisesti ilmanvaihto on suunniteltu niin, että hallitilaa ja muita tiloja palvelevat eri ilmanvaihtokoneet, jolloin siirtoilman hallitseminen näiden tilojen välillä vaikeutuu.

### 2.2.5 Ilmanvaihdon ohjaus

Ilmanvaihdon ohjaus voidaan toteuttaa eri tavoilla. Ohjaus on vahvasti yhteydessä rakennuksen käyttötarkoitukseen. Liikuntahalleissa oleskellaan yleensä aamusta iltaan asti, mutta käyttö painottuu voimakkaasti alkuillan tunneille. Lisäksi liikuntahallit ovat yleensä myös viikonloppuisin käytössä. Yöllä liikuntahalleissa ei yleensä ole käyttäjiä. Tämä epätasainen kuormitus vaikuttaa myös ilmanvaihdon suunnitteluun ja etenkin ohjaukseen. Optimaalinen ohjaustilanne on sellainen, että tilaan tuodaan kaikissa tilanteissa tarpeenmukainen ilmamäärä.

Vakioilmavirtainen ilmanvaihto toimii mitoitusilmavirralla ympäri vuorokauden. Liikuntahalleissa ehto riittävästä ilmamäärästä täyttyisi varmasti, jos ilmanvaihto olisi toteutettu vakioilmavirralla, mutta tämä olisi erittäin energiatehoton ratkaisu. Esimerkiksi yön aikana ilmanvaihdon tarve tilassa on huomattavasti pienempi.

Aikaohjatussa ilmanvaihdossa ohjaus tapahtuu kellonaikojen mukaan. Ilmanvaihtoa säädetään portaittain ilmanvaihtokoneelle syötetyn aikaohjelman mukaisesti. Esimerkiksi liikuntahallissa, joka on auki arkisin 08.00 – 22.00 ja viikonloppuisin 10.00 – 18.00 voidaan ilmanvaihto ohjata täydelle teholle käytön aikana ja minimi-ilmanvaihdolle käyttöajan ulkopuolella. Järjestelmään voidaan lisätä myös lisäaikakelloja, jolla järjestelmä voidaan käynnistää käyttöajan ulkopuolella. Aikaohjattu järjestelmä sopii parhaiten tiloihin, jossa on selkeät käyttöajat, ja käyttöaikana vakiokuormitus.

Mittaustuloksiin perustuva ilmanvaihdon ohjaus käyttää reaaliaikaisia mittaustuloksia ilmanvaihdon ohjaamiseen. Yleisimpiä mitattavia arvoja liikuntahalleissa ovat sisäilman lämpötilat ja hiilidioksidipitoisuudet, joiden mukaan ilmamääriä ja lämpötiloja säädetään. Ilmanvaihtojärjestelmä pyrkii pitämään ohjattavat arvot asetusarvoissaan muuttamalla ilmanvaihtokoneen puhaltimien ja lämpöpattereiden toimintaa. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisen ja todelliseen tarpeeseen perustuvan ilmanvaihdon ohjauksen.

Liikuntahallien kohdalla ilmanvaihdon ohjauksen optimoiminen lisää merkittävästi hallin energiatehokkuutta. Täten voidaan todeta, ettei vakioilmavirtainen ilmanvaihto sovi liikuntahallien liikuntatilojen ilmanvaihtoon. Myös aikaohjelman käyttö voi olla energiatehotonta, jos hallin käyttöaste vaihtelee suuresti. Aikaohjausta voidaan käyttää vain halleissa, joissa tila on tehokkaassa käytössä koko sen käyttöajan. Yleensä suositeltavin tapa liikuntahallien ilmanvaihdon ohjaukseen on mittaustuloksiin perustuva ilmanvaihto. Tällöin ilmanvaihdon säädön pitäisi olla portaatonta ja todelliseen tarpeeseen perustuvaa. Ohjausperusteena voidaan käyttää lämpötila- tai hiilidioksidipitoisuusmittauksia, mutta ohjaus voidaan toteuttaa myös näiden molempien pohjalta. Mittaamalla molempia arvoja

samanaikaisesti voidaan hallin lämpötila pitää tarpeeksi korkeana ja hiilidioksidipitoisuus tarpeeksi matalana kaikissa tilanteissa, jolloin maksimoidaan energiatehokkuus ja käyttäjien viihtyvyys.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon etuna on myös sen joustavuus. Esimerkiksi suurten yleisötapahtumien aikana ilmanvaihdon tarve on käytännössä maksimissaan kun taas aamupäivän vapaiden vuorojen aikana ilmanvaihto voidaan pitää minimissään. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon onnistunut suunnittelu ja toteutus tuovat tilaan riittävän ilmamäärän kaikissa tilanteissa eivätkä vaadi hallihenkilökunnan jatkuvaa seurantaa.

## 2.3 Ilman kerrostuminen ja painesuhteet korkeissa tiloissa

Suurille ja etenkin korkeille tiloille on omintaista ilman kerrostuminen tilassa. Ilman kerrostuminen johtuu ilman tiheyseroista eri lämpötiloissa. Kylmän ilman tiheys on suurempi kuin lämpimän ilman, jolloin lämmin ilma kohoaa luontaisesti ylöspäin kylmän ilman painuessa alaspäin. Tilassa seisova ilma kerrostuu täten niin, että kylmin ilma on lattian pinnassa ja lämpimin ilma katon rajassa. Ilmiö korostuu etenkin korkeissa yhtenäisissä tiloissa, joista hyviä esimerkkejä ovat liikuntahallit.

Lämmityskaudella ilmiö on energiatehokkuuden kannalta negatiivinen, sillä lämmitetty ilma kohoaa oleskeluvyöhykkeen yläpuolelle. Tilanne on usein sellainen, että oleskeluvyöhykkeen lämpötilan ollessa sopiva, tilan yläosan ilma on selvästi ylilämpöinen, eikä sitä voida hyödyntää. Korkeampi lämpötilaero sisäilman ja ulkoilman välillä aiheuttaa myös suuremmat lämpöhäviöt rakenteiden läpi.

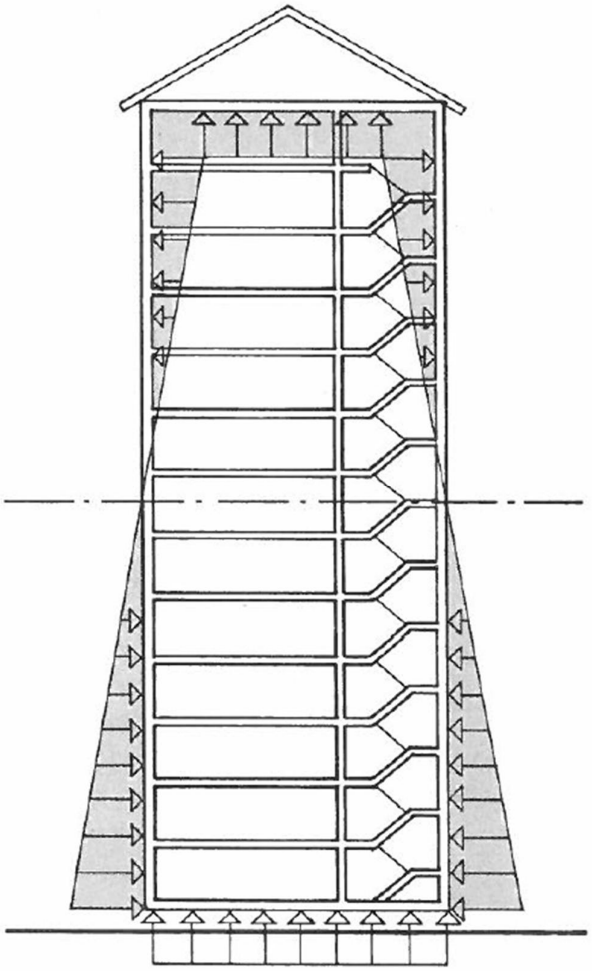
Said:n (1995) tutkimuksessa mitattiin lentokonehalleissa tapahtuvaa ilman kerrostumista Ottawassa lämmityskauden aikana. Liikuntahalleja parhaiten vastaavat rakenteet olivat pieniä lentokonehalleja, joiden koko oli 34.8 x 28.8m ja 32m x 42.7m. Molempien hallien korkeus oli 9.35m. Korkeudeltaan hallit vastaavat hyvin normaaleja liikuntahallien korkeuksia. Ilman kerrostumisesta aiheutuva lämpötilaero katon rajassa ja lattian lähellä olevan ilman välillä oli kyseisissä halleissa 4 °C. Tutkimuksessa havaittiin myös, että ilman kerrostuminen oli voimakkaampaa oleskeluvyöhykkeellä kuin ylempänä ilmatilassa. Tarkasteltavien hallien kohdalla lämpötilagradientti oli noin 1 °C/m lattiapinnasta 1.8m korkeudelle. Tätä ylempänä gradientti oli 0.4 °C/m.

Ilman kerrostuminen vaikuttaa myös rakennuksen energiatehokkuuteen. Edellä esitetyssä tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti kahden suuremman lentokonehallin (49m x 67m x 17.1m) lämpötilakerrostumisen vaikutusta rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Toisen hallin 4 °C lämpötilaero aiheutti noin 20 % suuremman energiankulutuksen verrattuna tilanteeseen, jossa lämpötilakerrostumista ei tapahdu. Toisessa, hieman paremmin eristetyssä hallissa 8 °C:een lämpötilaero ilmassa nosti energiankulutusta 38 %, joka vastaa 4,8 % energiankulutuksen kasvua jokaista lämpötilaeron astetta kohden. (Said M.N.A., 1995) Täten ilman lämpötilakerrostuminen voi olla merkittävä tekijä rakennuksen energiatehokkuuden kannalta. On kuitenkin huomioitava, ettei tässä tarkastelussa ole huomioitu lämmön talteenottoa, joka pystyy osittain hyödyntämään lämpimän ilman energian, jos poistoilmaelimet sijoitetaan lähelle katon rajaa. Lisäksi on huomioitava, että tarkasteltavat lentokonehallit eivät todennäköisesti vastanneet eristyksiltään nykyaikaista suomalaista liikuntahallia, jossa lämpöhäviöt ovat merkittävästi pienemmät paremman eristyksen johdosta.

Yleisesti voidaan sanoa, että ilman kerrostuminen liikuntahalleissa lisää energiankulutusta. Oleskeluvyöhykkeen lämpötilan ollessa halutulla tasolla hallin yläosissa ilma on todennäköisesti huomattavasti lämpimämpää, etenkin jos ilman kerrostumista ei ole huomioitu ja pyritty aktiivisesti minimoimaan. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa ilmaa joudutaan lämmittämään keskimääräisesti enemmän kuin tilassa, jossa ilma ei kerrostu. Tätä ilmiötä voidaan rajoittaa aktiivisesti pienentämällä ilman kerrostumista esimerkiksi ilmanjaon suunnittelulla siten, että lämmin ilma puhalletaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Tämä vaatii käytännössä tuloilmalaitteiden tuomista lähemmäksi lattiaa.

Ilman kerrostumisen aiheuttama korkeampi lämpötila hallin yläosissa lisää myös lämpöhäviöitä rakenteiden läpi, sillä rakenteiden johtumislämpöhäviöt ovat suoraan verrannollisia sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon.

Ilman kerrostuminen aiheuttaa energiankulutuksen kasvun lisäksi myös haastavat painesuhteet liikuntahalliin. Ilman kerrostuminen aiheuttaa tilan alaosiin alipainetta ja yläosiin ylipainetta. Ilmiötä kutsutaan savupiippuvaikutukseksi ja se korostuu korkeissa tiloissa. Kohtaa, jossa sisä- ja ulkoilman välillä ei ole paine-eroa kutsutaan neutraaliakseliksi. Savupiippuvaikutusta on havainnollistettu kuvassa 1 (Siikanen, 1996).



*Kuva 1. Savupiippuvaikutus korkeissa rakennuksissa. (Siikanen, 1996)*

Savupiippuvaikutuksen aiheuttaman ilmanpaineen suuruus voidaan laskea kaavalla (1).

$$p = (\rho_{ulkoilma} - \rho_{sisäilma}) * h * g \quad (1)$$

missä
$\rho_{ulkoilma}$ on ulkoilman tiheys
$\rho_{sisäilma}$ on sisäilman tiheys
h on tarkastelupisteen etäisyys neutraaliakselista
g on maan vetovoiman kiihtyvyys (9,81 m/s$^2$)

Tilassa neutraaliakselin sijaintiin vaikuttavat useat tekijät. Täysin tiiviissä tilassa neutraaliakseli on tilan keskellä, mutta riippuen aukotuksista, ilmanvaihdosta ja ovista sekä ikkunoista neutraaliakseli voi sijaita ylempänä tai alempana. Liikuntahallit ovat yleensä melko tasatiiviitä tiloja, jolloin voimme olettaa, että niiden kohdalla neutraaliakseli sijaitsee keskellä tilaa.

Esimerkiksi 7 metriä korkeassa liikuntahallissa, jossa ilman lämpötila hallin yläosassa on 20 °C ja ulkolämpötila on 5 °C (noin vuoden keskilämpötila Etelä-Suomessa), ilman tiheys sisällä on 1,204 kg/m$^3$ ja ulkona 1,269 kg/m$^3$. Katon rajassa etäisyys neutraaliakselista on tällöin 3,5m. Savupiippuvaikutuksen aiheuttamaksi ilmanpaineeksi (ylipaine) saadaan tällöin 2,23 Pa. Kun taas ulkoilman lämpötila on -15 °C (ilman tiheys 1,367 kg/m$^3$) saadaan ilmanpaineeksi 11,78 Pa.

Kun otetaan huomioon, että rakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan lähtökohtaisesti noin 5 Pa alipaineiseksi, voidaan sanoa, että yllä esitetyssä esimerkkitapauksessa ilmanvaihdon alipaine riittää kompensoimaan savupiippuvaikutuksen ylipaineen ulkoilman lämpötilan ollessa 5 °C.

Ulkoilman lämpötilan ollessa esimerkkitapauksessa -15 °C ilmanvaihdon alipaine ei kuitenkaan enää riitä pitämään koko rakennusta alipaineisena. Esimerkin pohjalta voimme tehdä johtopäätöksen, että liikuntahalleissa esiintyy sellaisia tilanteita, jossa savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine ylittää ilmanvaihdon aikaansaaman alipaineen. Kylminä vuodenaikoina tila tulee siten todennäköisesti olemaan ylipainen ulkoilmaan nähden.

Rakennuksen painesuhteet vaikuttavat vuotoilmavirtojen suuntiin. Pienen alipaineen ylläpito tilassa edesauttaa sitä, että vuotoilmavirrat kulkisivat aina ulkoa sisälle päin. Liikuntahalleissa painesuhteet saattavat kuitenkin vaihdella edellisen esimerkin mukaisesti. Ilmavirtojen suunnat vaikuttavat rakennuksen kosteustekniseen toimintaan, jota käsitellään seuraavassa kappaleessa.

## 2.4 Liikuntahallien kosteustekninen käyttäytyminen

Rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toiminta liittyvät aina vahvasti toisiinsa. Pyrittäessä mahdollisimman energiatehokkaisiin ratkaisuihin, on varmistettava myös rakennuksen kosteustekninen toiminta. Kosteus- ja homeongelmat saattavat johtaa kustannuksiin, jotka ovat moninkertaisia tavoiteltaviin säästöihin nähden.

Kosteusongelmien välttämiseksi suomen rakentamismääräyskokoelmassa on asetettu olennainen vaatimus rakennuksen kosteustekniselle toiminnalle. ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai

terveysriskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinnoille. Rakennuksen näiden ominaisuuksien tulee normaalilla kunnossapidolla säilyä koko taloudellisesti kohtuullisen käyttöiän ajan.” (Ympäristöministeriö, 1998)

Liikuntahallien kohdalla ilmanvaihto on keskeisessä asemassa niin energiatehokkuuden kuin kosteusteknisen toiminnan kannalta. Riittävällä ilmanvaihdolla tilasta poistetaan epäpuhtaudet ja samalla myös ylimääräinen kosteus. Vaadittavaan ilmanvaihdon tasoon vaikuttaa täten myös tilan kosteusrasitus.

Tehokkaalla ilmanvaihdolla voidaan edistää rakennuksen kuivumista ja pienentää sisäilman kosteusrasituksia rakenteille. Epäonnistunut ilmanvaihto taas edesauttaa ja mahdollisesti aiheuttaa kosteusvaurioita. Rakennuksen ensimmäisen käyttövuoden aikana ilmanvaihdon tulee olla korkeampi kuin normaalitilanteessa korkeamman kosteusrasituksen ja materiaaliemissioiden takia. (Myllylä & Lod, 2003)

Tilassa ilmanjako on suunniteltava siten, että se mahdollistaa moitteettoman kosteusteknisen toiminnan. Ilman tulee vaihtua kaikkialla tilassa siten, ettei katvealueita synny. Tarkastelun keskipisteenä on aina oleskeluvyöhykkeen ilmanvaihto, mutta ilmanvaihdon riittävyyttä tulee aina tarkastella kokonaisuutena. Ilmanjaon vaikutus kosteustekniseen toimintaan korostuu tiloissa, joissa käytetään ilmalämmitystä (esimerkiksi liikuntahalleissa). Tällöin on huolehdittava, että lämmittävä ilma jakautuu tilassa halutulla tavalla. Epäonnistunut ilmanjako saattaa johtaa tilanteeseen, jossa katvealueen lämpötila laskee haitallisen alhaiselle tasolle ja syntyy edellytykset kosteuden kondensoitumiselle. Todennäköisimpinä kosteuden kondensoitumispisteinä voidaan pitää erilaisia muuta tilaa kylmempiä pisteitä kuten esimerkiksi ikkunoita, nurkkapisteitä ja kylmäsiltoja.

Esimerkiksi ilmalämmitteisen liikuntahallin nurkka, jossa ilman vaihtuvuus on heikkoa, voi olla kriittinen piste kosteuden kondensoitumiselle. Ilmanjako kannattaakin yleensä suunnitella siten, että ilma tuodaan tilaan juuri kriittisten pisteiden ja pintojen kautta, jolloin varmistutaan siitä, ettei niihin tiivisty kosteutta.

Ilman lämpötilakerrostuminen nostaa liikuntahallin yläosien kosteusrasitusta. Savupiippuvaikutuksen ansiosta lämmin ilma kohoaa hallin yläosiin kylmän ilman jäädessä lähelle lattiapintaa. Savupiippuvaikutus on suoraan verrannollinen tilan vapaaseen korkeuteen, joten liikuntahalleissa sillä voi olla suurikin vaikutus tilan toimintaan. Lämpimän ilman mukana hallin yläosaan nousee myös kosteutta. Lisäksi lämpimämpi ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta kuin kylmä ilma.

Lämpötilakerrostuminen aiheuttaa sisä- ja ulkolämpötilojen erosta johtuvan paine-eron tilaan. Vaikka ilmanvaihdolla pyritään pitämään tila hieman alipaineisena, on lämpötilakerrostumisen vaikutus joissakin tilanteissa niin suuri, että hallitilan yläosiin muodostuu ylipainetta. Tämä voi johtaa siihen, että hallitsemattomat vuotoilmavirrat kulkeutuvat sisältä ulospäin, jolloin on vaarana kosteuden kondensoituminen rakenteiden sisälle. Vuotoilmavirtojen hallinta vaatii liitosten ja läpivientien huolellista suunnittelua ja toteutusta. Vaikka vuotoilmavirtoja ei syntyisi, voi hallin yläosissa esiintyä homeen kasvulle edulliset olosuhteet. Tällöin on kiinnitettävä huomiota myös rakenteiden ja verhousten materiaalivalintoihin. Ensisijaisen tavoitteen tulee kuitenkin olla se, ettei homeen kasvulle ole edellytyksiä.

Liikuntahallien oheistilojen kosteusrasitus voi olla hyvin erilainen liikuntatilaan verrattuna. Erityisesti pukuhuoneiden suihkutilojen kosteusrasitus on huomioitava. Liikuntahallien pukuhuoneille on ominaista erittäin epätasainen kuormitus, jossa esiintyy hetkellisiä korkeita rasituspiikkejä. Esimerkiksi kaikki suihkut saattavat olla samanaikaisesti käytössä, joka nostaa hetkellisen kosteustuoton tilassa erittäin korkeaksi. (Rakennustieto, 2014) Kosteusteknisesti tähän on varauduttava ensisijaisesti riittävällä ilmanvaihdolla, joka pystyy poistamaan liiallisen kosteuden. Energiateknisesti haasteeksi muodostuu se, miten ilmanvaihdon määrää voitaisiin pienentää kuormitushuippujen välillä.

## 2.5 Liikuntahallien arkkitehtuurin vaikutus energiatehokkuuteen

Kokonaisvaltainen energiatehokkuus vaatii myös arkkitehtuurin huomioimista. Rakennuksen sijoittautuminen tontilla, sen muoto ja ympäristö vaikuttavat kaikki rakennuksen energiankulutukseen. Liikuntahallin rakenteiden ja järjestelmien lisäksi on tarkasteltava myös hallin ympäristöä.

Yleisesti rakennuksen sijoittumista ohjaavat monet asiat. Rakennus tulee rakentaa lähelle käyttäjiä, joka liikuntahallien tapauksessa tarkoittaa usein sitä, että halli tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle asutusta ja koulurakennuksia. Paikallisesti rakennuksen sijainnin määrittelee tontti ja tontin rakennusalue. Tontin rakennusalue saattaa rajoittaa huomattavasti rakennuksen sijoittautumista ja suuntautumista. Rakennuksen optimaalinen sijoittaminen käyttää hyödyksi luonnollisia menetelmiä, jotka pienentävät energiankulutusta.

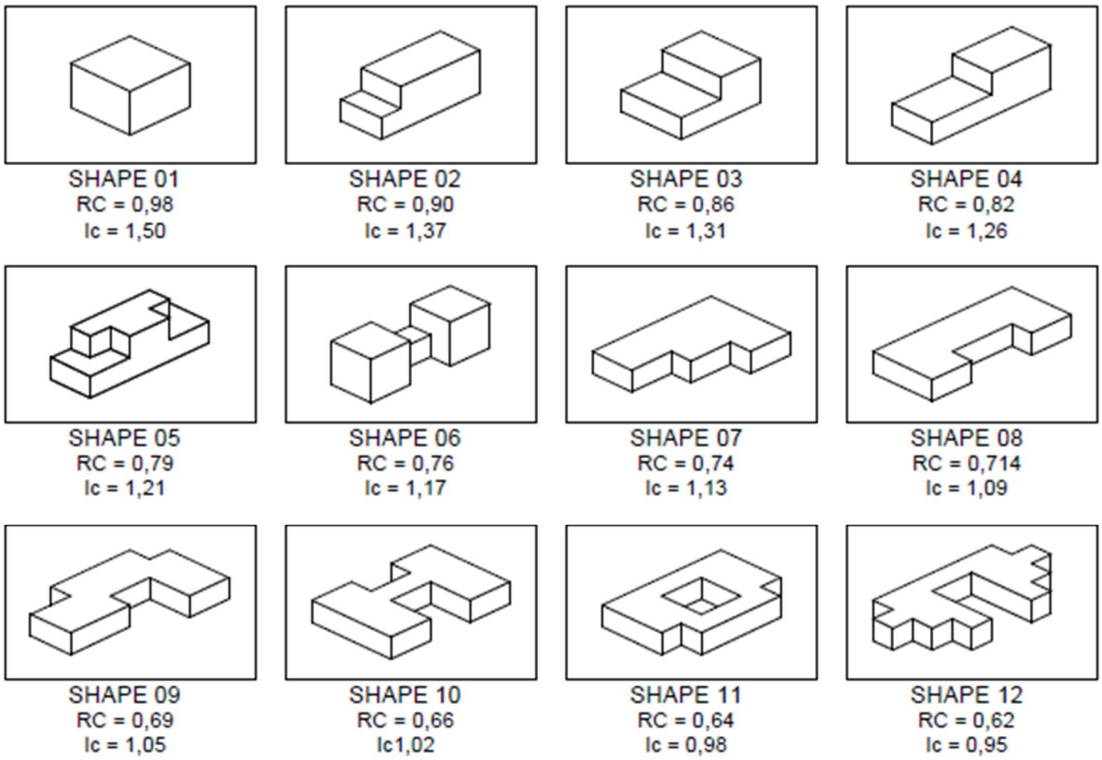
Mikäli rakennus voidaan sijoittaa alueelle vapaasti, on otettava huomioon paikalliset lämpötilaerot ja tuulisuus. Laaksoalueisiin muodostuu helposti ns. kylmän ilman järviä, jossa kylmä ilma valuu ympäristössään matalimpaan kohtaan (laaksoon) ja voi aiheuttaa jopa 10 °C eron rinteessä olevaan lämpötilaan. Kylmempi ympäristö aiheuttaa lisääntyneen lämmitystarpeen ja nostaa kustannuksia koko rakennuksen elinkaaren aikana. Paikalliset tuuliolosuhteet voivat myös nostaa lämmönkulutusta huomattavasti. Rakennuksen lähiympäristön maaston muodot, kasvillisuus sekä muut rakennukset vaikuttavat rakennuspaikan mikroilmastoon ja sen tuulisuuteen. Erityisesti tuulisilla paikoilla (esim. rannikolla) tulee tuulen vaikutus huomioida. Tuuliolosuhteita voidaan muuttaa rakennuksen optimaalisella sijoituksella ja käyttämällä erilaisia luonnollisia tai rakennettuja tuuliesteitä. (Gabrielsson, et al., 1983)

Rakennuksen muoto ja seinien ilmansuunnat vaikuttavat huomattavasti sen energiankulutukseen. Suuntaamalla oleskelutilat ja niiden julkisivut sekä ikkunat kohti etelää, voidaan auringonvaloa käyttää sekä lämmitykseen että luonnolliseen valaistukseen. Pohjoisseinälle voidaan vastaavasti sijoittaa oheistiloja (esim. varastoja), jotka eivät vaadi niin paljon lämmitystä, jolloin ne toimivat puskurivyöhykkeenä oleskelutiloille. Liikuntahallien kohdalla rakennuksen eteläosiin voidaan sijoittaa oheistiloja, joiden sisälämpötila on noin 21 °C ja luonnonvalon käyttö on luontevaa. Hallin pohjoisosiin voidaan sijoittaa liikuntatila, sillä hallitilan sisälämpötila on oheistiloja huomattavasti viileämpi (18 °C) ja hallissa voidaan usein käyttää vain keinovalaistusta. (Gabrielsson, et al., 1983)

Rakennuksen energiatehokkuutta parantaa sellainen rakennuksen muoto, jossa ulkovaipan pinta-ala on mahdollisimman pieni suhteessa rakennuksen tilavuuteen. Tämä pienentää vaipan läpi johtuvan lämpöenergian suuruutta. Rakennuksen muotoa voidaan kuvata tilavuuden suhteella rakennuksen alaan, joka on esitetty kaavassa (2). Arvo kuitenkin muuttuu rakennuksen tilavuuden kasvaessa, joten muodon optimaalisuutta paremmin kuvaamaan on luotu ns. suhteellinen muotokerroin RC (Relative Compactness). Suhteellisen muotokertoimen laskukaava on esitetty kaavassa (3). Liikuntahallit ovat yleensä tilavaatimuksiensa takia hyvin kompakteja rakennuksia tästä näkökannasta. Hallien suhteellisen muotokertoimen voidaan olettaa olevan välillä 0,86 – 0.98. Esimerkkejä erilaisista rakennuksen muodoista ja niiden vaikutuksista suhteelliseen muotokertoimeen on esitetty kuvassa 2. (Pessenlehner, 2003)

$$I_c = \frac{V}{A} \quad (2)$$

$$RC = \frac{6V^{0,66}}{A} \quad (3)$$




*Kuva 2. Rakennuksen muodon vaikutus $I_c$ ja RC lukuihin. (Pessenlehner, 2003)*

Rakennuksen arkkitehtuuriseen suunnitteluun kuuluvat myös aktiiviset ja passiiviset rakenneratkaisut. Lämmityskaudella energiantarvetta voidaan vähentää käyttämällä aurinkokennoja, -keräimijä sekä hyödyntämällä rakennuksen lämpökuormia auringosta, ihmisistä, käyttölaitteista ja valaistuksesta. Eristemäärien kasvaminen onkin johtanut siihen,

että lämmitystarve on pienentynyt ja lämpökuormien hallinnalla on entistä suurempi merkitys rakennuksen energiatehokkuudessa. Optimaalisessa tilanteessa rakennus pystytään lämmittämään pääsääntöisesti lämpökuormilla ja kovemmilla pakkasilla tarvittava lämmitysenergia tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä.

Suuret eristemäärät ja lämpökuormien hyödyntäminen ovat kuitenkin johtaneet myös kasvaneeseen jäähdytystarpeeseen kesällä. Tästä syystä etenkin passiivisten jäähdytysratkaisuiden suunnittelu on tärkeää. Tilaan tulevan auringonvalon rajoittaminen ja liiallisten lämpökuormien minimointi sekä massiivirakenteiden käyttö vähentävät jäähdytystarvetta huomattavasti. Lisäksi yötuuletuksen käyttö on tehokas tapa viilentää rakennusta. Liikuntahallien jäähdytystä tarkastellaan tarkemmin kohdassa 3.8.

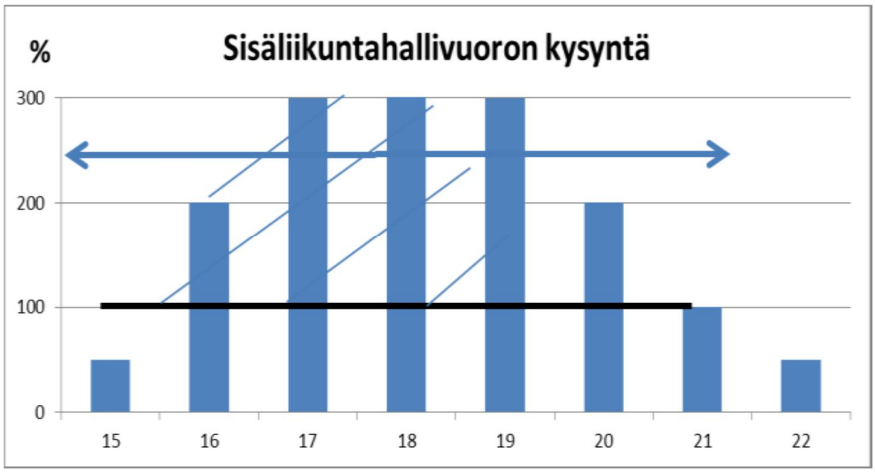
Arkkitehtonisista tekijöistä liikuntahallien energiatehokkuuteen ja jäähdytystarpeeseen vaikuttavat eniten rakennuksen muoto ja koko, ikkunoiden määrä ja suuntaus sekä paikalliset sääolosuhteet. Liikuntahallien suuria seinäpintoja (varsinkin etelään) voidaan hyödyntää luonnonvalon ja auringon lämpökuormien hyödyntämisessä. Lisäksi suuret ja yleensä ympäristöään selvästi korkeammalla olevat kattopinnat soveltuvat hyvin aurinkokennojen ja -keräimien sijoituspaikoiksi. Hallien katoille voitaisiin sijoittaa myös pieniä tai keskisuuria tuuliturbiineja, jotka voisivat parantaa omavaraista sähköntuotantoa entisestään.

Uusiutuvien energiamuotojen investointikustannukset putoavat jatkuvasti tekniikan kehittyessä. Esimerkiksi aurinkopaneelien kustannukset saattavat lähitulevaisuudessa olla niin alhaiset, että liikuntahallien kattopintojen käyttö aurinkosähkön tuotantoon voi olla suositeltava ratkaisu kaikkien uusien liikuntahallien rakennuksen yhteydessä.

## 2.6 Liikuntahallien käyttöaste ja -profiili

Liikuntahallit palvelevat niiden käyttäjiä. Halleilla pyritään tarjoamaan laajat liikuntamahdollisuudet lähiseudun asukkaille. Tavoitteena on pitää halli mahdollisimman paljon käytössä, jolloin kävijämäärät ja käyttöaste pystyvät korkeina. Liikuntahallien käytössä on kuitenkin havaittavissa suurta vaihtelua sekä kellonaikojen että vuodenaikojen mukaan.

Viikkotasolla liikuntahallien vuorojen kysyntä keskittyy arki-iltoihin (17.00 – 21.00), jolloin vuorojen kysyntä saattaa olla moninkertaista tarjontaan nähden (Kuva 3). Myös viikonloppuna kysyntää voi olla paljon, sillä usein pallopelien ottelut järjestetään juuri viikonloppuisin. Otteluohjelmaan vaikuttaa luonnollisesti urheilutoiminnan kilpailukauden ajankohta. Huippuaikojen ulkopuolella kysyntä voi olla vaihtelevaa, mutta yleinen ongelma on se, ettei aamu- ja päivävuoroihin löydy riittävästi käyttäjiä. Tämä ongelma on osittain ratkaistu useassa liikuntahallissa siten, että halli sijoitetaan koulun läheisyyteen, jolloin halli on päivisin koululiikunnan käytössä. Kesällä liikuntahallien ja sisäliikuntatilojen käyttäjämäärät ovat yleisesti hyvin alhaisia, jolloin jotkut sisäliikuntatilat saattavat jopa sulkea toiminnan. Hallin ollessa suljettuna voidaan samalla suorittaa tarvittavat huoltotoimenpiteet. (Häyrinen, 2013)




*Kuva 3. Teoreettinen sisäliikuntavuorojen kysyntä painottuu arki-iltoihin (Häyrinen, 2013)*

Vaikka käyttäjämäärät ja käyttöaste vaihtelevat suuresti, niiden seuranta on liikuntahalleissa heterogeenista ja usein olematonta. Taulukossa 3 on esitetty kunnissa sisäliikuntapaikoista kerättävät käyttäjätiedot. Eniten tietoja käyttäjämääristä ja käyttöasteesta kerätään yli 50000 asukkaan kunnissa (56 %) ja vähiten 10000–19999 asukkaan kunnissa (22 %). (Häyrinen, 2013)

*Taulukko 3. Kuntien sisäliikuntapaikoista kerätty tieto (N=213). (Häyrinen, 2013)*

| | Käyttöaste | Kävijämäärä | Käyttöaste ja kävijä-määrä | Ei kyseisiä tietoja saatavilla |
|---|---|---|---|---|
| **Liikuntahallit** | 34 % | 16 % | 34 % | 16 % |
| **Jäähallit** | 30 % | 12 % | 41 % | 17 % |
| **Uimahallit** | 4 % | 44 % | 44 % | 9 % |
| **Koulujen salit** | 46 % | 11 % | 22 % | 22 % |
| **Yhteensä** | 31 % | 19 % | 33 % | 17 % |

Nissinen & Möttönen (2013) tutkimuksessa tarkasteltiin 16 liikuntahallin varaustietoja. Tutkimukset tulokset liikuntahallien osalta on esitetty Taulukko 4. Tässä tutkimuksessa jätämme tarkastelun ulkopuolelle taulukossa esitetyt kohteet ”Messukeskus, C-halli” sekä ”Ouluhalli, palloilutila”, sillä ne eivät ole edustavia kohteita liikuntahalleiksi ja niistä saadut tiedot ovat puutteellisia.

*Taulukko 4. Liikuntahallien varaustietoja. (Nissinen & Möttönen, 2013)*

| | Varattavissa | | Varattuna | Varausaste | Kartoitus- |
|---|---|---|---|---|---|
| | h/vuosi | vrk/vuosi | h/vuosi | % | perusteet |
| Messukeskus, C-halli* | 3 100 | 200 | 2 080 | 67 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Ouluhalli, palloilutila** | 1 448 | 93 | 1 129 | 78 % | Viikot 9 ja 13/2012 |
| Linnanmaan liik.halli, palloilusali | 3 608 | 263 | 3 060 | 85 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Karhuvuoren urh.talo, liikuntasali | 5 408 | 338 | 2 620 | 48 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Karhulan liikuntahalli | 4 944 | 309 | 2 080 | 42 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Mussalon liikuntahalli | 3 712 | 232 | 1 384 | 37 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Vaajakosken liikuntahalli | 4 340 | 310 | 2 889 | 67 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Monitoimitalo, palloilusali | 4 665 | 311 | 3 349 | 72 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Hipposhalli, palloilutila | 4 368 | 312 | 3 590 | 82 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Hämeenkaari, liikuntahalli 1 | 4 336 | 271 | 2 371 | 55 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Hämeenkaari, liikuntahalli 2 | 4 336 | 271 | 2 773 | 64 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Punaportin liikuntahalli | 3 945 | 263 | 2 026 | 51 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Iittala-halli | 4 379 | 302 | 1 683 | 38 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Kirkonkylän liikuntahalli, Heinola | 2 665 | 197 | 1 156 | 43 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Leppävaaran urheiluhalli | 3 498 | 246 | 1 643 | 47 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Tapiolan urheiluhalli | 4 599 | 324 | 3 755 | 82 % | Viikot 12 ja 46/2011 |
| Keskimäärin | 3 959 | 265 | 2 349 | 60 % | |

* kaudet epätavallisia, ** vain kevätkauden tunnit mukana

Taulukossa 4 esitettyjen 14 liikuntahallin keskimääräiseksi aukioloajaksi saadaan noin 282 vrk/vuosi. Varattavissa olevia vuoroja on keskimäärin 4200 h/vuosi. Varattujen vuorojen keskiarvoksi saadaan 2456 h/vuosi. Keskimääräiseksi varausasteeksi saadaan 58 %. Taulukosta nähdään myös liikuntahallien aukioloaikojen, varattujen tuntien ja varausasteen vaihteluvälit, jotka ovat jo näin pienen otannan kohdalla merkittävät. Liikuntahallin käyttöaika (h/24h) on näissä tapauksissa laskettu jakamalla varattavissa olevat tunnit hallin aukiolopäivillä vuodessa.

Nissinen & Möttönen (2013) viittaavat tutkimuksessaan kootusti myös edeltävien VTT:n tutkimusten tuloksiin. 1990- luvun alkupuolella päättyneessä Merkittävimpien liikuntapaikkojen laatu ja kustannukset – hankkeessa liikuntahallien keskimääräiseksi aukioloajaksi saatiin 3900 h/vuosi. Vuonna 2006 päättyneessä Tilateho – hankkeessa todettiin liikuntahallien keskimääräiseksi aukioloajaksi 4400 h/vuosi.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) esitetään keskimääräinen käyttöaste ja aukioloaika liikuntahallille. Käytetään hallin aukioloaikana edellä laskettua keskiarvoa, 282 vrk/vuosi. Hallin ollessa auki 14 tuntia päivässä, vastaa tämä noin 3948 tuntia vuodessa. Voidaan myös olettaa, että hallin ollessa auki, kaikki vuorot ovat varattavissa. Oletetaan myös, että käyttöastetta voidaan käyttää suoraan varattujen tuntien laskemiseen, jolloin 50 % käyttöasteella tämä vastaa noin 1974 varattua tuntia vuodessa.

Tuomela, et al. (2003) tutkimuksessa esitettiin aukioloajat Pirkkalan liikuntahallille. Liikuntahalli on avoinna maanantaista perjantaihin klo 07 – 22, lauantaina klo 09 – 20 ja sunnuntaina klo 10 – 22. Viikossa liikuntahalli on avoinna 98 tuntia, joka vastaa keskimäärin 14 h/pv aukioloaikaa. Vuositasolla hallin on oletettu olevan auki 48 viikkoa, jol-

loin vuodessa liikuntahalli on avoinna 4704 tuntia. 48 viikon aukioloajan perustella liikuntahalli on avoinna 336 päivää vuodessa. Oletetaan taas, että liikuntahallin ollessa auki kaikki vuorot ovat varattavissa. Hallin vuorojen varaus- tai käyttöastetta ei esitetty.

Nissinen (1993) tutki 22 tennishallin käyttökustannusten muodostumista. Talvikauden aikana tennishallien keskimääräinen aukioloaika oli 97 tuntia viikossa (~13,9 h/pv) ja keskimääräinen käyttöaste aukioloajasta 78 %. Täten hallien käyttöaika oli keskimäärin 76 tuntia viikossa. Tennishallien tehokkaan käyttöajan vaihteluväli oli 46 – 107 tuntia per viikko. Oletetaan, että myös tennishallien aukioloaika on keskimääräisesti 282 vrk/vuosi, joka on noin 40 viikkoa. Täten varattavien tuntien määrä on 3908 ja varattujen tuntien määrä 3048 vuodessa.

Nissinen (1993) esitteli myös tennishallien tarkasteluja varten muodostetun esimerkkihallin, jota käytettiin energiankulutuksen vertailutasona. Kyseisen esimerkkihallin kohdalla aukioloaikana käytettiin 275 päivää per vuosi ja päivittäisenä aukioloaikana 14 tuntia per vuorokausi. Keskimääräisenä käyttöasteena käytettiin 75 % aukioloajasta.

Tässä työssä tarkastellun Summahallin aukioloaika on keskimäärin 14 h/vrk ja halli on käytössä 7 päivää viikossa. Yhteensä halli on auki noin 340 pv vuodessa, jolloin varattavien tuntien määräksi muodostuu 4760h. Hallin käyttöasteen arvioidaan olevan noin 70 %. Muista tässä työssä tarkastelluista liikuntahalleista ei ollut käytettävissä tarkkaa tietoa niiden aukioloajasta. Kaikki edellä esitetyt tulokset on koottu taulukkoon 5.

*Taulukko 5. Kootut käyttöajat ja –asteet*

| Liikuntahallien käyttöaika ja –aste | Varattavia tunteja vuodessa | Varattuja tunteja vuodessa | Käyttöaika h/24h | Käyttöaika d/7d | Käyttöaste % |
|---|---|---|---|---|---|
| SRMK D3 (2012) | 3948 | 1974 | 14 | 7 | 50 |
| Nissinen & Möttönen (2013) | 3959 | 2349 | 14,9 | 7 | 60 |
| Nissinen & Möttönen (2013): 14 edustavaa hallia | 4200 | 2456 | 14,9 | 7 | 58 |
| Merkittävimpien liikuntapaikkojen laatu ja kustannukset | 3900 | - | - | - | - |
| Tilateho | 4400 | - | - | - | - |
| Tuomela ym. (2003) | 4704 | - | 14 | 7 | - |
| Nissinen (1993) tutkimuskohteet | 3908 | 3048 | 13,9 | 7 | 78 |
| Nissinen (1993) esimerkkihalli | 3850 | 2888 | 14 | 7 | 75 |
| Summahalli, Espoo | 4760 | 3332 | 14 | 7 | 70 |

Erilaiset tietojärjestelmät, kuten WebTimmi, parantavat sisäliikuntahallin saavutettavuutta ja tukevat vuorojen varaamista. Sähköisiä varausjärjestelmiä käyttää kuitenkin vain 31,46 % kunnista. Nykypäivänä myös liikuntatilojen verkkosivut ovat keskeisessä asemassa tilojen näkyvyyden ja saavutettavuuden kannalta. (Häyrinen, 2013)

Energiatehokkuuden kannalta käyttäjätiedot mahdollistavat entistä optimoidumpien järjestelmien käytön. Ilmanvaihdon ollessa yksi eniten energiaa kuluttavista järjestelmistä, sen tarpeenmukainen käyttö voi säästää huomattavasti energiaa. Yksinkertaisimmillaan kävijätietojen käyttö voi tarkoittaa sitä, että ilmanvaihto tiputetaan minimitasolle, mikäli tilassa ei ole käyttäjiä. Tämäkin voi tuoda huomattavia säästöjä liikuntahalleissa, joissa ilmanvaihtoa ohjataan kellonaikojen mukaan, mutta käyttö on vähäistä aamu- ja päivävuoroissa. Pisimmälle vietynä käyttäjämääriä voidaan käyttää suoraan lähtötietona ilmanvaihdon reaaliaikaisessa ohjauksessa, jossa järjestelmä voi jopa ennakoida kävijämäärien vaatimia ilmanvaihdon tarpeita etukäteen. Keskeinen tavoite molemmissa tapauksissa on kuitenkin se, että tilaan tuodaan tarvittava määrä ilmaa, mutta liiallista ilmanvaihtoa vältetään.

Käyttäjämäärien suora käyttö ilmanvaihdon ohjauksessa on kuitenkin haastavaa. Jotta käyttäjäperusteisesti ohjautuva ilmanvaihto toimisi halutulla tavalla, siihen tulee syöttää erittäin tarkat lähtötiedot. Tarkkojen lähtötietojen kerääminen voi olla haastavaa liikuntahalleissa, joissa käyttö ja liikuntaryhmien koko ovat vaihtelevia. Lähtötietoina voitaisiin käyttää hallin varausjärjestelmän tietoja, mutta tällöin varauksien pitäisi olla tarkkoja ja hyvin informatiivisia. Esimerkiksi pelkkä käyttäjien määrä ei riitä ilmanvaihdon optimaaliseen ohjaukseen, sillä ihmisen aktiviteettitasolla on suuri merkitys ilmanvaihdon tarpeeseen. Täten esimerkiksi urheilutoimintaa pitäisi kategorisoida sen fyysisen vaativuuden mukaan ja yleisömäärät rekisteröidä järjestelmään erikseen. Tarvittavien tietojen kerääminen on mahdollista, mutta aiheuttaisi tarpeetonta vaivaa hallin henkilökunnalle ja käyttäjille. Tämä saattaisi vaikuttaa myös negatiivisesti hallin saavutettavuuteen ja käyttöasteeseen.

Liikuntahallien käyttäjämääriä voidaan välillisesti seurata mittaamalla ilman hiilidioksidipitoisuutta. Ilmassa olevan hiilidioksidin määrä korreloi suoraan hallin käyttäjämäärän kanssa ja ottaa samalla huomioon käyttäjien aktiviteettitason. Tavanomaisina, pieninä pitoisuuksina hiilidioksidi on vaaraton kaasu ja sen vaikutukset tunnetaan hyvin. Myös hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen on nykyisin helppoa ja edullista. Nämä tekijät tekevät hiilidioksidipitoisuudesta käyttökelpoisen ohjausperusteen ilmanvaihdolle.

Ilmanvaihdon tarpeen lisäksi käyttäjämäärät vaikuttavat myös valaistukseen. Tilan valaistus kuluttaa huomattavia määriä sähköenergiaa, joten turhan ja liiallisen valaistuksen minimoiminen on suotavaa. Samoin kuin ilmanvaihdon kohdalla, valaistus voidaan säätää minimiinsä, jos tilassa ei ole käyttäjiä. Lisäksi valaistuksen suunnittelussa tulisi huomioida tarvittavan valaistuksen taso. Valaistusta tulisi pystyä säätämään käyttötarpeen ja käyttäjien mukaan. Esimerkiksi kilpailutilanteiden valaistus on yleensä hyvin voimakas ja täten paljon sähköä kuluttavaa. Normaalikäytössä (esimerkiksi harjoituksissa tai koululiikuntakäytössä) tarvittava valaistus on huomattavasti alhaisempi, jolloin valaistuksessa tulisi olla säätömahdollisuus. Mikäli valaistuksen ohjaus jätetään käyttäjien säädettäväksi, on vaarana, että valaistusta käytetään yli tarpeiden ja se jätetään päälle käytön jälkeen. Tähän voidaan puuttua riittävällä ohjeistuksella.

Käyttäjätietoja tarvitaan myös rakennuksen mallinnuksessa. Mikäli liikuntahallin lämpöteknistä toimintaa halutaan mallintaa, ovat käyttäjät siinä keskeisessä asemassa. Rakennuksen käyttö ohjaa edellä mainituilla tavoilla ilmanvaihdon ja valaistuksen toimintaa. Valaistus ja ihmiset muodostavat liikuntahallien lämpökuormat, sillä käyttäjälaitteiden määrä liikuntatilassa on yleensä vähäinen. Nykyisissä rakennuksissa lämpöhäviöt ovat maltillisia, jolloin lämpökuormien merkitys kokonaiskuvan tarkastelun suhteen on kasvanut. Tarkkojen käyttäjätietojen avulla voidaan myös arvioida, mikä on rakennuksen

energiatehokkuuden optimaalisin tilanne, kun kaikki järjestelmät ovat käyttäjälähtöisesti säädettyjä.

Käyttöasteen ja käyttäjämäärien maksimoinen nostaa liikuntahallien tehokkuutta. Käyttäjien tuomien tulojen tulisi olla kaikkien liikuntahallien primäärinen tulonlähde. Lisääntyneet kävijämäärät eivät nosta hallin kiinteitä kuluja ja myös muuttuvien kulujen kasvu on vähäistä (Häyrinen, 2013). Hallin tulisi olla houkutteleva kohde lähellä käyttäjiä. Erilaisten hallin käyttöä nostavien toimenpiteiden tutkiminen on suositeltavaa. Eräs keino nostaa hallin käyttöastetta on taata hallivuorojen joustava ja helppo varausmahdollisuus. Varausjärjestelmän joustavuutta lisää mahdollisuus varata yksittäisiäkin vuoroja. Yksi keino käyttäjämäärien nostamiseksi voisi olla myös dynaaminen hinnoittelu, joka kannustaisi varaamaan vuoroja ruuhka-aikojen ulkopuolelta.

# 3 Liikuntahallien sisäilmaston ylläpidon energiankulutus

Rakennus kuluttaa energiaa ja luonnonvaroja sen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Elinkaariarvioinnin (LCA, Life Cycle Assessment) ja elinkaarikustannusten (LCC, Life Cycle Cost) avulla voimme arvioida rakennuksen energiatehokkuutta koko sen käyttöiän aikana. Tarkastelemalla rakennusta lähtien liikkeelle sen rakentamisen vaatimien materiaalien valmistuksesta aina rakennuksen purkuun asti, voimme luoda kokonaiskuvan rakennuksen energiatehokkuudesta ja ympäristövaikutuksista. (Opetusministeriö, 2007) Yleisesti voidaan kuitenkin sanoa, että suurin osa rakennuksen kuluttamasta energiasta käytetään sen käyttö- ja ylläpitovaiheessa. Tästä syystä energiatehokkuuden tarkastelu keskittyy juuri tähän elinkaaren vaiheeseen.

Yleisellä tasolla liikuntahallit ovat isoja yhtenäisiä korkeita lämmitettyjä tiloja. Halleissa ei esiinny erityisvaatimuksia, kuten esimerkiksi uimahallien ja jäähallien kohdalla. Keskeinen energian kulutukseen vaikuttava tekijä on täten sisäliikunnalle suotuisten olosuhteiden luominen ja ylläpito.

Olosuhteiden ylläpidon energiankulutukseen vaikuttavat eniten tilan lämmitys, ilmanvaihto ja valaistus. Rakennuksen sisäilma on valtaosan vuodesta lämpimämpää kuin ulkoilma, jolloin tapahtuu jatkuvasti lämpöhäviöitä sisältä ulos. Häviöiden suuruuden kannalta keskeisessä roolissa ovat ilmanvaihto sekä rakenteiden eristävyys.

Ilmanvaihdon poistoilman mukana tilasta poistuu lämpöä jatkuvasti. Lämpöenergian määrä on suoraan verrannollinen ilmanvaihdon suuruuteen eli tilavuusvirtaan. Poistoilman lämpösisältö tulisi pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti lämmön talteenoton optimaalisella toiminnalla.

Rakennuksen rakenteiden läpi poistuu jatkuvasti lämpöenergiaa johtumalla. Sisäilman ollessa lämpimämpää kuin ulkoilma, lämpö virtaa sisältä ulospäin. Ulkoilman ollessa sisäilmaa lämpimämpää lämpövirta kulkee päinvastaiseen suuntaan. Johtuvan lämpöenergian suuruus on suoraan verrannollinen lämpötilaeroon, joten lämpötilojen eron kasvaessa myös johtuvan lämmön määrä kasvaa.

Tilan lämmitystarpeeseen vaikuttavat myös rakennuksen vuotoilmavirrat. Lähtökohtaisesti energiatehokkaassa rakennuksessa vuotoilmavirrat pyritään minimoimaan, mutta

niiden poistaminen kokonaan on haastavaa. Koneellinen ilmanvaihto pyrkii kosteusteknisistä syistä ylläpitämään pientä alipainetta tilassa, joka lisää hieman vuotoilmavirtoja. Vuotoilmavirrat lisäävät osaltaan lämmitystarvetta tilassa, sillä ne on myös lämmitettävä huonelämpötilaan. Vuotoilmavirtojen lämmityksessä ei pystytä hyödyntämään lämmön talteenottoa.

Sisäilmastoon kuuluu keskeisesti tilan valaistus, joka kuluttaa sähköenergiaa. Valaistuksen tarve vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan, mutta voimakkaampi valaistus kuluttaa aina suuremman määrän energiaa. Energiatehokkaassa liikuntahallissa valaistus on tarpeenmukainen.

Myös ilmanvaihto kuluttaa huomattavan määrän sähköenergiaa. Liikuntahallin ilmanvaihdon ilmamäärien ollessa suuria, tarvitaan suuritehoiset puhaltimet ilmamäärän liikuttamiseen. Lisäksi ilmanvaihto on käytännössä aina päällä vähintään minimi-ilmanvaihdolla, jolloin puhaltimet kuluttavat energiaa ympäri vuorokauden.

Lämpimän käyttöveden valmistus kuluttaa liikuntahalleissa melko vähän energiaa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaan lämpimän käyttöveden ominaiskulutus liikuntahalleissa on 343 $dm^3/(m^2a)$ ja tätä vastaava lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti 20 $kWh/(m^2a)$. Vertailuksi asuinrakennusten kohdalla vastaavat arvot ovat 600 $dm^3/(m^2a)$ ja 35 $kWh/(m^2a)$.

Liikuntahallien osalta ei vielä ole olemassa valtakunnallista, keskitettyä portaalia, johon liikuntahallien energiankulutuksien tietoja kerättäisiin. Portaaliin voitaisiin kerätä kattavasti tietoja eri puolilla Suomea sijaitsevista liikuntahalleista keskittyen niiden energiakulutukseen ja teknisiin ratkaisuihin. Tämä edistäisi tietämystä liikuntahallien energiatehokkuudesta huomattavasti. Vastaavanlaiset portaalit ovat jo olemassa uimahallien ja jäähallien tarkastelua varten.

Tarkkoja tietoja liikuntahallien toteutuneista energiankulutuksista on tilastoitu vähän. Kulutukset ovat vain hallien itsensä tiedossa, eikä niitä ole kerätty tai tutkittu tämän tarkemmin juuri ollenkaan. Tästä syystä tässä kappaleessa esitetyt tiedot ovat joiltakin osin puutteellisia ja perustuvat joihinkin oletuksiin.

## 3.1 Energiatehokkuusvaatimukset liikuntahalleille

Suomessa erityyppisten rakennusten energiatehokkuuden vaatimukset esitetään rakentamismääräyskokoelmissa. Energiatehokkuuden vaatimukset perustuvat E-luvun maksimiarvoihin. E-luku kuvaa energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian kultusta rakennustyypin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-lukuvaatimus koskee koko rakennuksen energiankulutusta eikä täten ota kantaa siihen, mistä kulutus muodostuu. (Ympäristöministeriö, 2012)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) on esitetty ylärajat erityyppisten rakennusten E-luvuille, joita ei saa ylittää. Liikuntahallit on luokiteltu erikseen luokkaan 7: ”Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli”. Kyseisen luokan E-luvun maksimiarvo on 170 $kWh/m^2a$. (Ympäristöministeriö, 2012)

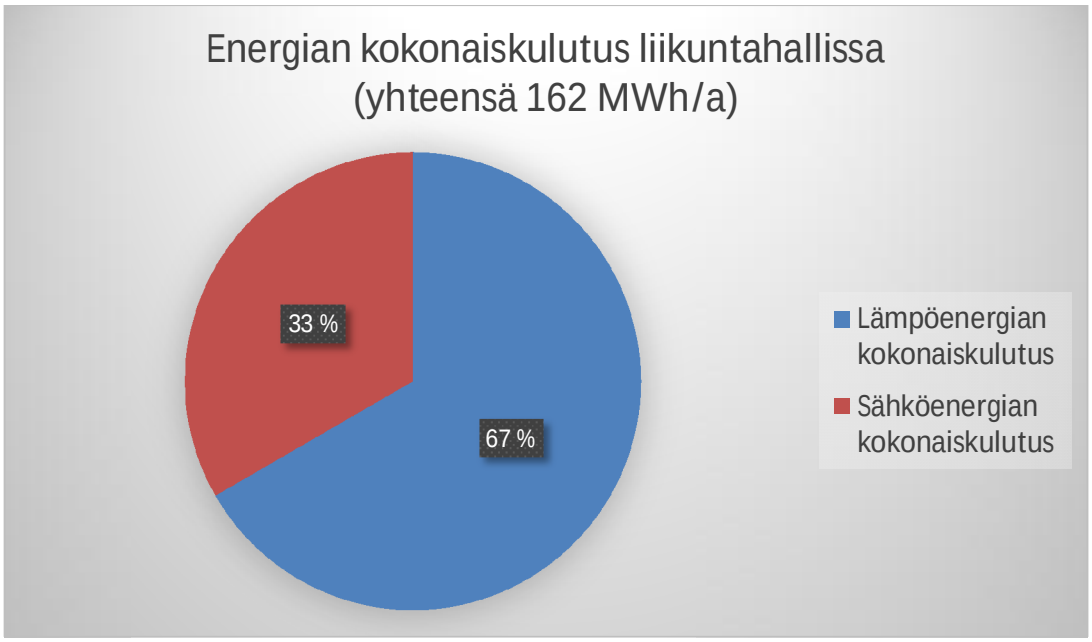
Kurnistki (2009) esitteli raportissaan tarkemman jaottelun liikuntahallien suurimmalle sallitulle energiankulutuksen jakautumiselle, joka on esitetty taulukossa 6. Raporttia on käytetty yhtenä lähtötietona rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) laatimisessa.

Raportti esittelee vuona 2003 ja sen jälkeen käyttöön otetulle liikuntahallille E-luvuksi 190 kWh/m$^2$a. Raportin kohdalla on otettava huomioon, ettei se erottele uima- ja jäähalleja liikuntahalleista. Esitetty E-luku perustuu soveltaen Norjan vastaaviin vaatimuksiin. Norjalainen raportti, johon Kurnitski omassa raportissaan viittaa, esittää liikuntarakennusten kokonaisenergiatarpeeksi (Total net energy demand) 185 kWh/m$^2$a (Eriksson, 2008).

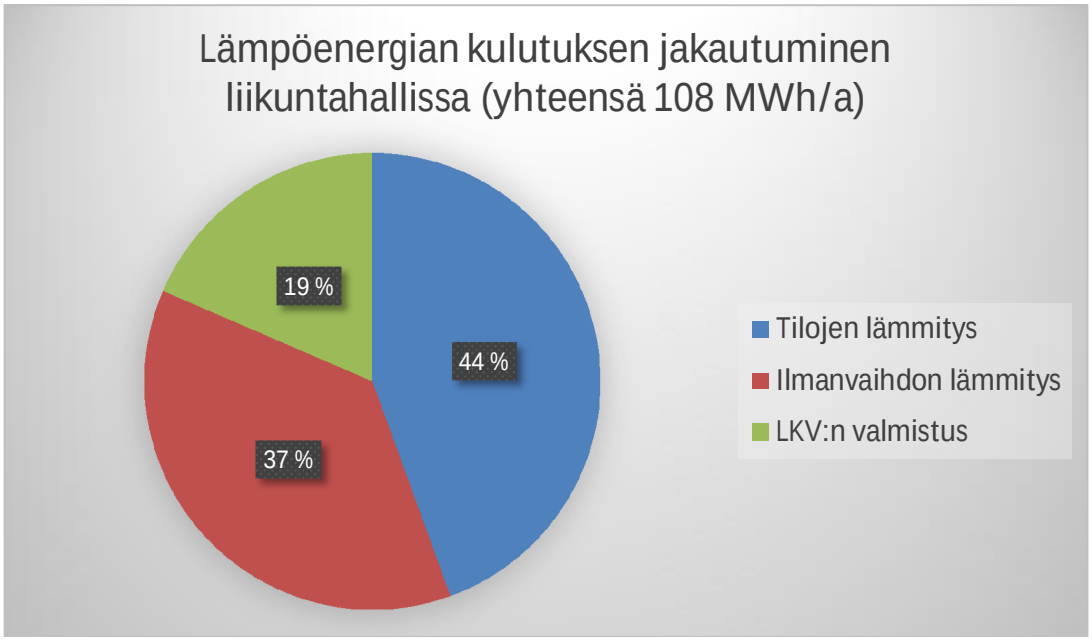
*Taulukko 6. Vuonna 2003 ja sen jälkeen käyttöön otettujen rakennusten E-luvun muodostuminen. (Kurnistki, 2009)*

| Ominaiskulutus, kWh/(m² a) | Pientalo | Asuin-kerrostalo | Toimisto-rakennus | Kauppa-keskus | Hotelli | Koulu-rakennus | Liikunta-sali | Liikunta-halli | Päiväkoti | Terveys-keskus | Sairaala |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 28 | 21 | 36 | 4 | 9 | 39 | 41 | 48 | 59 | 21 | 57 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 2 | 17 | 11 | 40 | 26 | 27 | 19 | 40 | 15 | 17 | 42 |
| LKV:n valmistus | 18 | 40 | 6 | 4 | 40 | 11 | 11 | 20 | 25 | 20 | 30 |
| Puhaltimet ja pumput | 5 | 10 | 15 | 35 | 35 | 25 | 28 | 23 | 23 | 25 | 54 |
| Valaistus | 7 | 10 | 22 | 77 | 37 | 23 | 39 | 31 | 21 | 23 | 47 |
| Laitteet | 16 | 21 | 24 | 4 | 11 | 10 | 0 | 0 | 5 | 28 | 47 |
| Jäähdytys (sähköä) | 3 | 4 | 9 | 10 | 13 | 5 | 0 | 0 | 0 | 18 | 50 |
| Lämpöenergia yhteensä | | 78 | 53 | 48 | 75 | 77 | 71 | 108 | 99 | 58 | 129 |
| Sähköenergia yhteensä | 78 | 45 | 70 | 126 | 95 | 63 | 67 | 54 | 48 | 94 | 199 |
| Lämpöenergian kerroin | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Sähköenergian kerroin | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Painotettu ominaiskulutus | 157 | 144 | 178 | 285 | 243 | 179 | 185 | 183 | 166 | 228 | 488 |
| Pyöristetty E-luku | 160 | 145 | 180 | 290 | 250 | 180 | 190 | 190 | 170 | 230 | 500 |

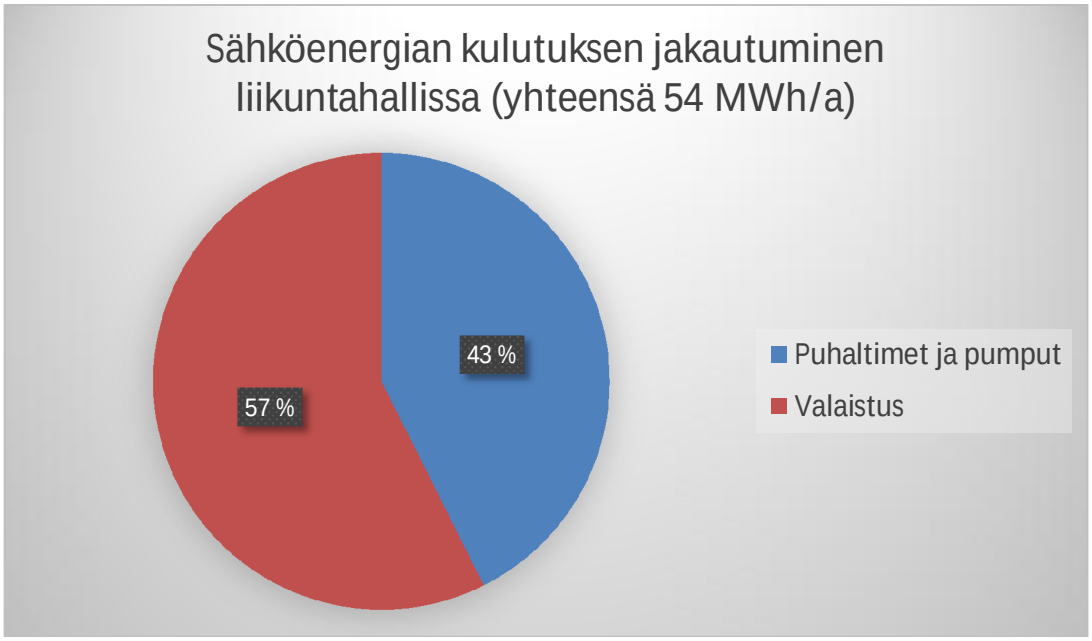
Kurnistki (2009) esittelemän raportin mukaan liikuntahallien lämpöenergian kokonaiskulutus on 108 kWh/m$^2$a ja sähkön kokonaiskulutus 54 kWh/m$^2$a joka on esitetty kuvassa 4. Lämpö- ja sähköenergian kulutuksien jakautuminen on esitetty kuvissa 5 & 6.




*Kuva 4. Energian kokonaiskulutuksen jakautuminen liikuntahallissa Taulukko 6 mukaisesti.*




*Kuva 5. Lämpöenergian kulutuksen jakautuminen liikuntahallissa Taulukko 6 mukaisesti.*




*Kuva 6. Sähköenergian kulutuksen jakautuminen liikuntahallissa Taulukko 6 mukaisesti.*

## 3.2 Motivan julkaisema palvelusektorin ominaiskulutusjakauma

Motiva Oy (2014) ylläpitää ja julkaisee tietoja palvelusektorin ominaiskulutuksista. Tiedot pohjautuvat yrityksen energiakatselmustietokantaan, johon on tallennettu lähes 6500 kohteen energiankulutustiedot. Tässä työssä hyödynnetyt tiedot pohjautuvat vuosina 2005 – 2011 tehtyihin energiakatselmuksiin.

Energiakatselmusten pohjalta tehty kooste esittelee erilaisten rakennusten lämpö- ja sähköenergian sekä veden ominaiskulutuksia. Tämän tutkimuksen osalta tarkastelemme ryhmää numero 35: ”Urheilu- ja kuntoilurakennukset (pois lukien jää- ja uimahallit)”, jonka

tiedot on koostettu 13 kohteen tietojen pohjalta. Tämän ryhmän lämpöenergian ominaiskulutuksen mediaani on 45,7 kWh/r-m$^3$, sähköenergian ominaiskulutuksen mediaani 19,4 kWh/r-m$^3$ ja veden ominaiskulutuksen mediaani 82 dm$^3$/r-m$^3$. (Motiva Oy, 2014)

Tarkastelussa on huomion arvoista myös se, että ominaiskulutuksien välillä oli erittäin suuria eroja. Lämpöenergian ominaiskulutuksen minimi- ja maksimiarvot olivat 7,9 kWh/r-m$^3$ ja 135,1 kWh/r-m$^3$. Sähköenergian ominaiskulutuksien minimi- ja maksimiarvot olivat 3,8 kWh/r-m$^3$ ja 105,8 kWh/r-m$^3$. Veden ominaiskulutuksien minimi- ja maksimiarvot olivat 19 dm$^3$/r-m$^3$ ja 1466 dm$^3$/r-m$^3$. Suurimman ja pienimmän lämpöenergian ominaiskulutuksen ero oli 17 kertainen ja sähkön sekä veden minimi- ja maksimiarvon ero oli vielä suurempi. Eroista voidaan päätellä, että liikuntahallien energiatehokkuuksissa on merkittäviä eroja.

Ominaiskulutusten tarkastelemiseksi pinta-alakohtaisesti kerrotaan huonekuutiometrikohtainen ominaiskulutus keskimääräisen liikuntahallin korkeudella (7,74m). Liikuntahallin keskimääräistä korkeutta on tarkasteltu tämän työn kohdassa 7. Tällä karkealla laskutoimituksella liikuntahallien ominaiskulutuksiksi pinta-alaa kohden saadaan; lämpöenergia 353,7 kWh/m$^2$, sähköenergia 150,2 kWh/m$^2$ ja veden kulutus 634,7 dm$^3$/m$^2$.

Esitetyt ominaiskulutukset ovat erittäin korkeat kaikilla osa-alueilla. Tarkastelussa voidaan ottaa huomioon, että energiakatselmukset tehdään yleensä rakennuksissa, joissa on syytä olettaa, että energiatehokkuutta voidaan parantaa. Täten tässä osiossa esitetyt ominaiskulutukset ovat painottuneet enemmän vanhempien ja energiatehottomien liikuntarakennusten kulutuksiin. Arvot kuitenkin edustavat Suomen tämänhetkisen rakennuskannan tilaa ja energiatehokkuutta.

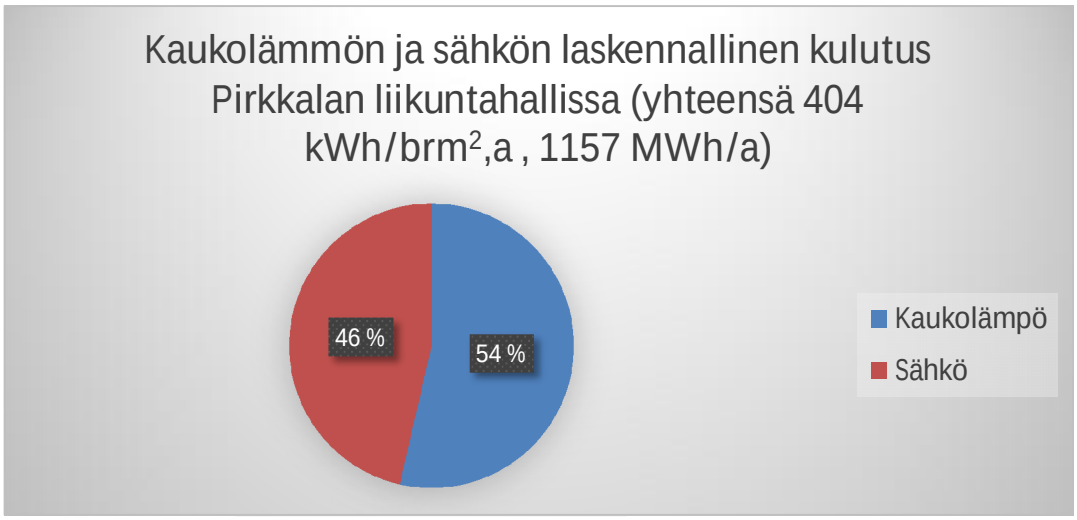
## *3.3 Liikuntahallien energiankulutuksen esimerkkikohteita*

### 3.3.1 Pirkkalan liikuntahalli

Tuomela, et al. (2003) tutkimuksessa arvioitiin laskennallisesti Pirkkalassa sijaitsevan, vuonna 2000 valmistuneen liikuntahallin energiankulutusta ja ympäristövaikutuksia. Tutkimuksen keskeinen tulos oli se, että energiankulutus ja ympäristökuormitukset keskittyvät hyvin vahvasti elinkaaren kiinteistönhoidon jaksolle eli käyttövaiheeseen. Rakennuksen 50 vuoden elinkaaren aikana kiinteistönhoitovaiheessa käytettiin 89 % kulutetusta energiasta ja tuotettiin 93 % $CO_2$ ekvivalentista. Tämä korostaa sitä, että suurimmat energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet sijoittuvat rakennuksen käyttövaiheessa. Lisäksi rakennuksen pidempi käyttöikä nostaa käyttövaiheen kulutusta entisestään.

Edellä mainitun tutkimuksen liikuntahallin liikuntatilan pinta-ala on 1100 m$^2$ ja rakennuksen kokonaisbruttoala 2864 m$^2$. Hallissa on kaksi ilmanvaihtokonetta, jotka on varustettu regeneratiivisella lämmön talteenotolla, joiden hyötysuhde on 65 %. Ilmanvaihdossa on myös ilmankostutin, joka toimii täydellä teholla talvisin ja puolella teholla kesäisin. Ilmanvaihto ja ilmankostutin toimivat vain hallin aukioloaikoina. Liikuntasalin valaistus on käytössä täydellä teholla vain viikonloppuna pelien aikana. Hallin lämmönlähde on kaukolämpö. Märkätiloissa lämmitysmuotona on lattialämmitys ja muualla patterilämmitys. (Liikuntapaikkajulkaisu, 2007) Hallin tilavuutta arvioitiin karkealla tasolla laskennallisesti, sillä sitä ei esitetty raporteissa. Oletetaan, että liikuntatilan korkeus on noin 8m ja muiden tilojen korkeus noin 3m. Näillä oletuksilla rakennuksen tilavuuden arvioidaan olevan noin 14100 Rm$^3$.

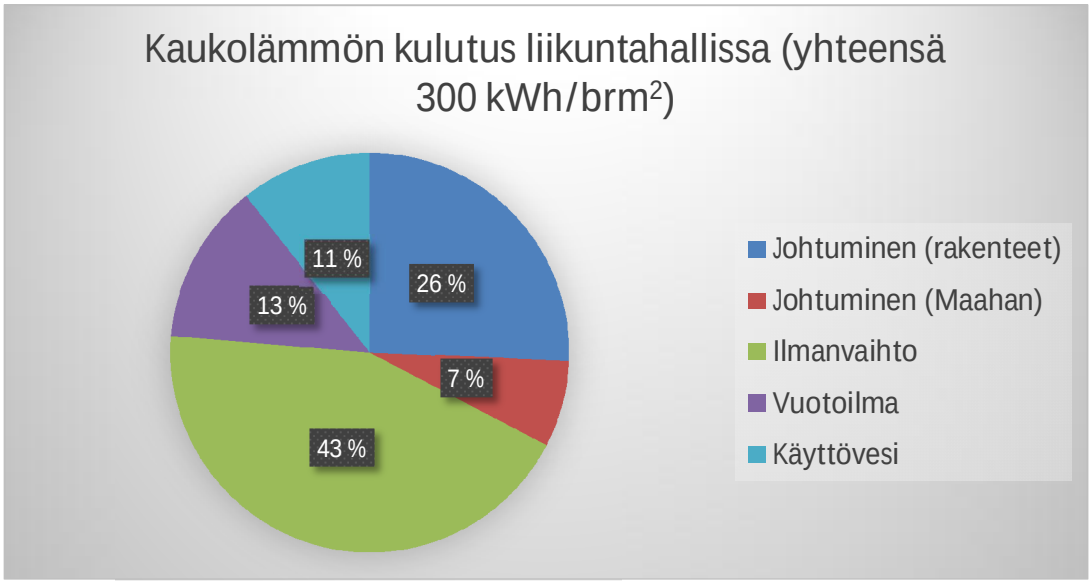
Liikuntahallin laskennalliseksi lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 620 MWh/a ja sähköenergian tarpeeksi 537 MWh/a. Rakennuksen bruttopinta-alaan verrattuna tämä tarkoittaa 216 kWh/brm$^2$ lämmitysenergian ja 188 kWh/brm$^2$ sähköenergian tarvetta vuodessa. Rakennuksen tilavuutta kohden kaukolämmön kulutus on 44 kWh/Rm$^3$,a ja sähköenergian kulutus 38,1 kWh/Rm$^3$,a. Sekä lämmitys- että sähköenergian osalta suurin yksittäinen kuluttaja on ilmanvaihto. Tarkempi erittely tutkimuksen liikuntahallin energiantarpeista on esitetty taulukoissa 7 & 8 sekä kuvissa 7 - 9. Laskennassa käytetty astepäiväluku oli 5795 Kh. Laskennassa on oletettu ilmanvaihdon olevan käytössä myös aukioloaikojen ulkopuolella. On huomioitava, että lähteessä laskenta oli esitetty ilman yksiköitä tai selkeitä välivaiheita, joka vaikeutti tulosten tulkintaa huomattavasti. Vuotuisena aukioloaikana on käytetty 48 viikkoa ja viikoittaisena käyttöaikana 112 tuntia. (Tuomela, et al., 2003)




*Kuva 7. Pirkkalan liikuntahallin kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen.*

*Taulukko 7. Pirkkalan liikuntahallin laskennallinen lämmitysenergian tarve (Tuomela, et al., 2003).*

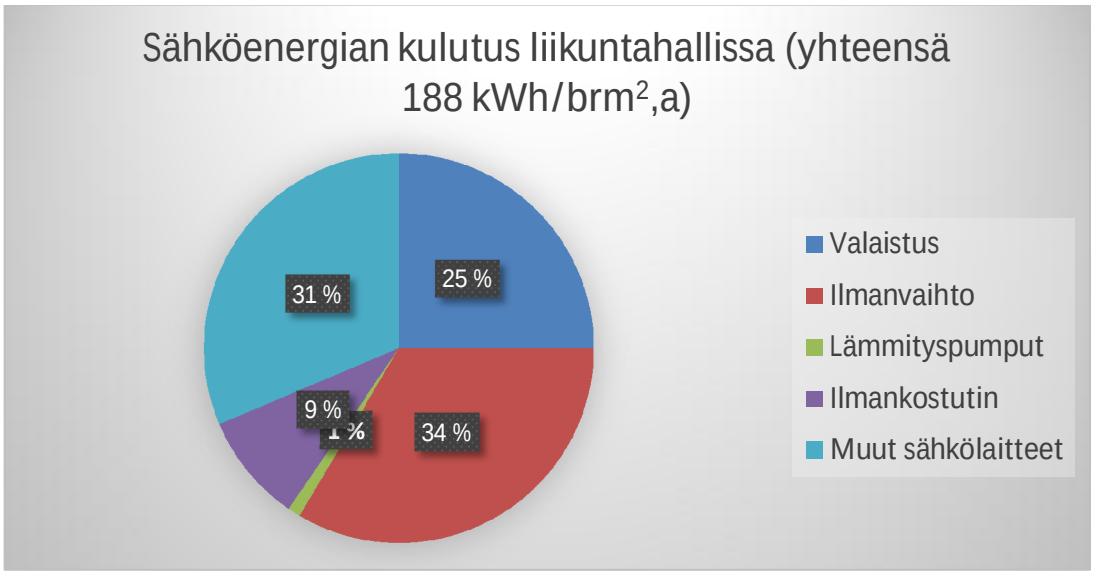
| **Liikuntahallin lämmitysenergian tarve** | **MWh/a** | **kWh/brm$^2$/a** |
|---|---|---|
| Rakenteiden läpi johtuva energia | 220 | 77 |
| Maahan johtuva energia | 59 | 21 |
| Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia | 374 | 131 |
| Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia | 113 | 39 |
| Käyttöveden lämmitys | 92 | 32 |
| Ilmaisenergiat | – 240 | – 84 |
| **Yhteensä** | **620** | **216** |




*Kuva 8. Pirkkalan liikuntahallin kaukolämmön kulutuksen jakautuminen. Muodostettu taulukon 7 tiedoista. Ilmaisenergioita ei ole huomioitu kuvassa.*

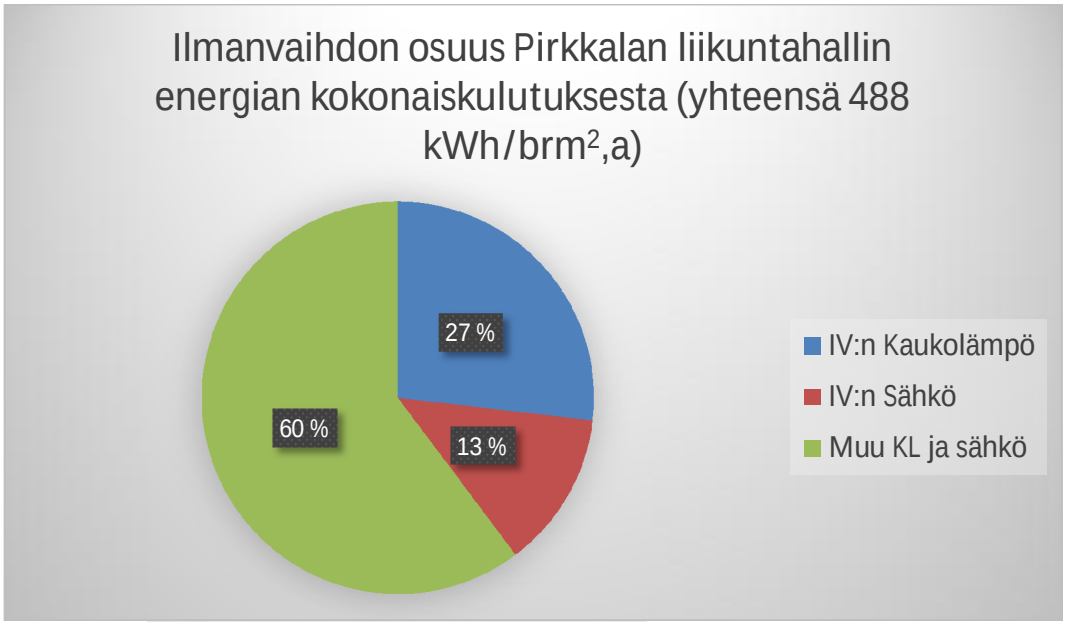
*Taulukko 8. Pirkkalan liikuntahallin laskennallinen sähköenergian tarve (Tuomela, et al., 2003).*

| **Liikuntahallin sähköenergian tarve** | **MWh/a** | **kWh/brm²/a** |
|---|---|---|
| Valaistuksen sähköenergian tarve | 134 | 47 |
| Ilmanvaihdon sähköenergian tarve | 179 | 63 |
| Lämmityspumput | 6 | 2 |
| Hallin ilmankostutin | 49 | 17 |
| Muut sähkölaitteet | 169 | 59 |
| **Yhteensä** | **537** | **188** |




*Kuva 9. Pirkkalan liikuntahallin sähköenergian kulutuksen jakautuminen. Muodostettu taulukon 8 tiedoista.*

Ilmanvaihdon osuus Pirkkalan liikuntahallin energiankulutuksessa on merkittävä sekä lämpö- että sähköenergian osalta. Ilmanvaihdon toiminta kuluttaa yhteensä 40 % kokonaisenergiankulutuksesta, joka on esitetty kuvassa 10.




*Kuva 10. Ilmanvaihdon osuus rakenmuksen kokonaisenergiankulutuksesta Pirkkalan liikuntahallissa. Kuvaajassa ei ole huomioitu ilmaisenergioiden osuutta.*

### 3.3.2 Mikkelin monitoimihallin simuloitu energiankulutus

Kuusela (2013) esittelee opinnäytetyössään laskennalliset tulokset Mikkeliin mahdollisesti rakennetavan monitoimihallin energiankulutuksen osalta. Monitoimihallin kokonaiskerrosala on 11250 $m^2$ ja bruttotilavuus 129 104 $m^3$ (hankesuunnitelman mukaan). Hankesuunnitelman pohjalta tehty laskenta esittelee liikuntahallin energiankulutusta, joka on simuloitu IDA-ICE – ohjelmalla. Hallin toimintaa mallinnettiin sekä säteily- että ilmalämmitteisenä. Tämän lisäksi mallinnettiin myös aurinkokeräimien vaikutusta energiankulutukseen, mutta sitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa.

Tutkimuksen keskeinen tulos on se, että Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen E-luvun maksimiarvo (170 kWh/$m^2$a) alitetaan hallissa sekä ilma- että säteilylämmitystä käytettäessä. Mallinnuksen lähtötietoina käytettiin hankesuunnitelmien tietoja ja muut tekijät asetettiin sellaisiksi, että ne täyttävät nykyiset rakentamismääräyskokoelmien vaatimukset.

Tutkimus esittelee myös käyttökelpoisia konsepteja energiatehokkuuden parantamiseksi, joista keskeisimpiä ovat ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus sekä valaistuksen tehon laskeminen. Lisäksi simuloinnissa mallinnettiin rakennuksen ilmatiiveyden parantamisen ja ilmanvaihtokoneiden SFP luvun parannuksen vaikutukset energiankulutukseen.

Tutkimuksessa simuloinnit suoritettiin siten, että ensin hallin toimintaa tarkasteltiin ilman yllä mainittuja tehostustoimenpiteitä, jonka jälkeen toimenpiteet lisättiin hallin tarkasteluun kumulatiivisesti. Tutkimus esittelee myös simuloinnin tulokset ominaisenergiankulutukselle, joka on tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoisempaa kuin E-lukujen tarkastelu.

Taulukoissa 9 & 10 on esitetty simuloinnin tulokset monitoimihallin ominaisenergiankulutukselle ja E-luvulle säteily- ja ilmalämmitysten tapauksissa. Yhteen laskettuun ominaisenergian kulutukseen vaikuttaa selkeästi eniten ilmanvaihdon toteutus tarpeenmukaisesti. Perustilanteen ilmanvaihdon ohjaus oli toteutettu toiminta-aikaohjeuksella.

Tässä työssä on tehty tulkinta, että opinnäytetyössä saadut tulokset on esitetty osittain virheellisesti. Energiankulutuksen jakautumista esittävissä kappaleissa kulutuksien yksiköiksi on esitetty kWh/m$^3$. Samaa yksikköä on käytetty myös E-luvun yksikkönä, vaikka määritelmän mukaisesti E-luvun yksikkö on kWh/m$^2$a. Opinnäytetyön tulosten tarkastelussa oletettu, että kulutusjakaumien kohdalla yksikön olisi pitänyt olla kWh/m$^2$a eikä kWh/m$^3$. Tulkintaa tukee se, että työssä erikseen esitetty kokonaisenergian ominaiskulutus (muodossa kWh/m$^2$a) on lämpö- ja sähköenergian jakautumien summa. Taulukko 9 & Taulukko 10 on käytetty lähteestä poiketen yksikkönä kWh/m$^2$a kWh/m$^3$ sijaan.

Kulutuksen suhdetta rakennuksen kokonaistilavuuteen (kWh/Rm$^3$,a) on tarkasteltu tässä työssä seuraavasti. Kulutuksen suuruus muodossa kWh/m$^2$a kerrotaan rakennuksen kokonaiskerrosalalla (11250 m$^2$) ja jaetaan rakennuksen bruttotilavuudella (129104 m$^3$). Kulutuksen suhde laskettiin säteily ja ilmalämmitteisissä halleissa perustapauksissa sekä tilanteessa, jossa on tehty tiivistys sekä ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 9. Sähkö- ja lämmitysenergian jakautuminen säteilylämmityksellä ominaiskulutuksen ja E-luvun laskennassa Mikkelin monitoimihallissa. Yksiköt muutettu. (Kuusela, 2013)*

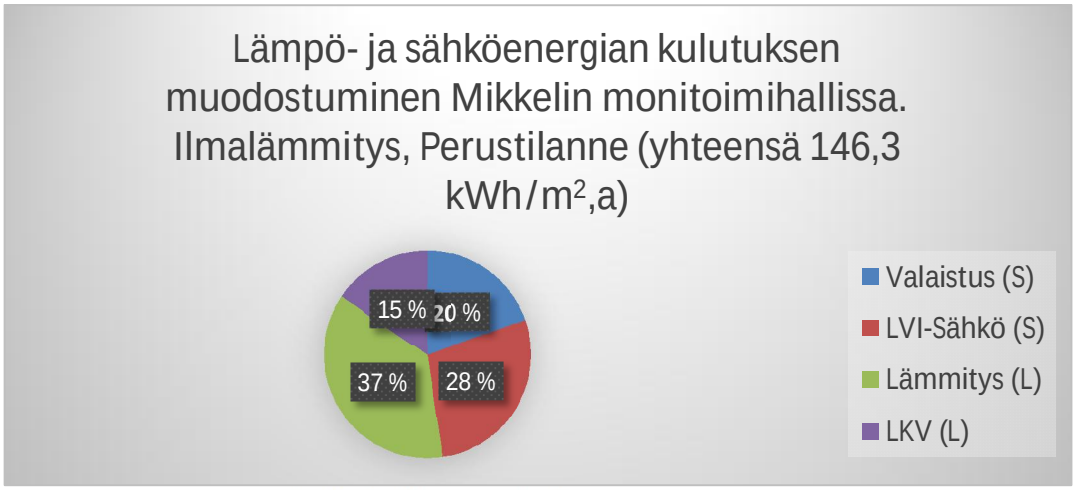
| Muutos | Valaistus, kiinteistö kWh/m$^2$a | Jäähdytys kWh/m$^2$a | LVI, sähkö kWh/m$^2$a | Lämmitys kWh/m$^2$a | LKV kWh/m$^2$a | Ominaiskulutus kWh/m$^2$a | E-luku kWh/m$^2$a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perustilanne | 28,8 | 0 | 23,6 | 54,5 | 22,8 | 129,7 | 143,2 |
| Tiiveys $q_{50}$=2 1/h | 28,8 | 0 | 23,6 | 49,0 | 22,8 | 124,1 | 139,2 |
| $CO_2$-ohjaus 850 ppm | 28,8 | 0 | 11,4 | 20,7 | 22,8 | 83,6 | 98,7 |
| Valaistus 8 W/m$^2$ | 19,2 | 0 | 10,7 | 25,0 | 22,8 | 77,7 | 84,2 |
| SFP 1,5 kW/m$^3$/s | 19,2 | 0 | 8,4 | 25,4 | 22,8 | 75,9 | 80,7 |

*Taulukko 10. Sähkö ja lämmitysenergian jakautuminen ilmalämmityksellä ominaiskulutuksen ja E-luvun laskennassa Mikkelin monitoimihallissa. Yksiköt muutettu. (Kuusela, 2013)*

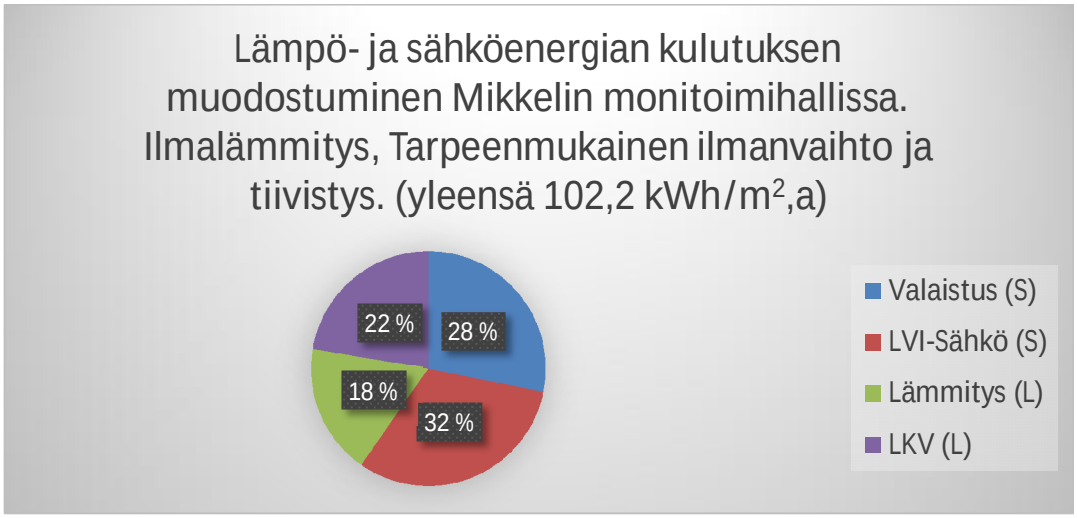
| Muutos | Valaistus, kiinteistö kWh/m$^2$a | Jäähdytys kWh/m$^2$a | LVI, sähkö kWh/m$^2$a | Lämmitys kWh/m$^2$a | LKV kWh/m$^2$a | Ominaiskulutus kWh/m$^2$a | E-luku kWh/m$^2$a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perustilanne | 28,8 | 0 | 40,9 | 53,9 | 22,8 | 146,3 | 172,0 |
| Tiiveys $q_{50}$=2 1/h | 28,8 | 0 | 40,9 | 49 | 22,8 | 141,4 | 168,6 |
| $CO_2$-ohjaus 850 ppm | 28,8 | 0 | 32,2 | 18,4 | 22,8 | 102,2 | 132,5 |
| Valaistus 8 W/m$^2$ | 19,2 | 0 | 30,8 | 20,8 | 22,8 | 93,5 | 115,4 |
| SFP 1,5 kW/m$^3$/s | 19,2 | 0 | 23,8 | 22,5 | 22,8 | 88,2 | 104,7 |

*Taulukko 11. Mikkelin monitoimihallin laskennalliset kulutuksen suhteessa rakennuksen tilavuuteen*

| | Lämpöenergian kulutus kWh/Rm$^3$,a | Sähköenergian kulutus kWh/Rm$^3$,a | Energian kokonaiskulutus kWh/Rm$^3$,a |
|---|---|---|---|
| Säteilylämmitys, perustilanne | 6,74 | 4,57 | 11,31 |
| Säteilylämmitys, tiivistys ja $CO_2$ –ohjaus | 3,79 | 3,50 | 7,29 |
| Ilmalämmitys, perustilanne | 6,68 | 6,07 | 12,75 |
| Ilmalämmitys, tiivistys ja $CO_2$ –ohjaus | 3,59 | 5,32 | 8,91 |




*Kuva 11. Mikkelin monitoimihallin energiankulutuksen jakautuminen ilmalämmitteisen hallin perustilanteessa.*




*Kuva 12. Mikkelin monitoimihallin energiankulutuksen jakautuminen ilmalämmitteisessä hallissa, jossa on parannettu rakennuksen tiiveyttä ja käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.*

### 3.3.3 Poltinahon salibandyhalli

Hämeenlinnan Poltinahon salibandyhallin energiankulutuksesta saadaan joitakin tietoja Aalto-yliopiston entisten tutkimusten pohjalta. Poltinahon liikuntahalli on valmistunut vuonna 2004 ja hallissa on kaksi salibandykenttää, kuntosali, judotatami sekä sosiaali- ja oheistilat. Salibandykenttien yhteenlaskettu pinta-ala on noin 1600 $m^2$ ja kuntosalin sekä tatamin pinta-alat ovat molemmat noin 200 $m^2$. Rakennuksen kokonaispinta-ala (brutto-pinta-ala) on noin 2190 $m^2$.

Hallissa on kaksi samanlaista ilmanvaihtokonetta sekä erillinen huippuimuri. Molemmat ilmanvaihtokoneet palvelevat yhtä salibandykentistä. Toinen IV-kone palvelee tämän lisäksi kuntosalin ja toinen tatamikentän sekä sosiaalitilojen ilmanvaihtoa. Huippuimurilla tehostetaan ilmanvaihtoa puku- ja peseytymistiloissa. Ilmanvaihto on aikaohjattu aikavälille 08.00 – 22.30. Yön aikana ilmanvaihto on päiväohjelmaa merkittävästi pienempi

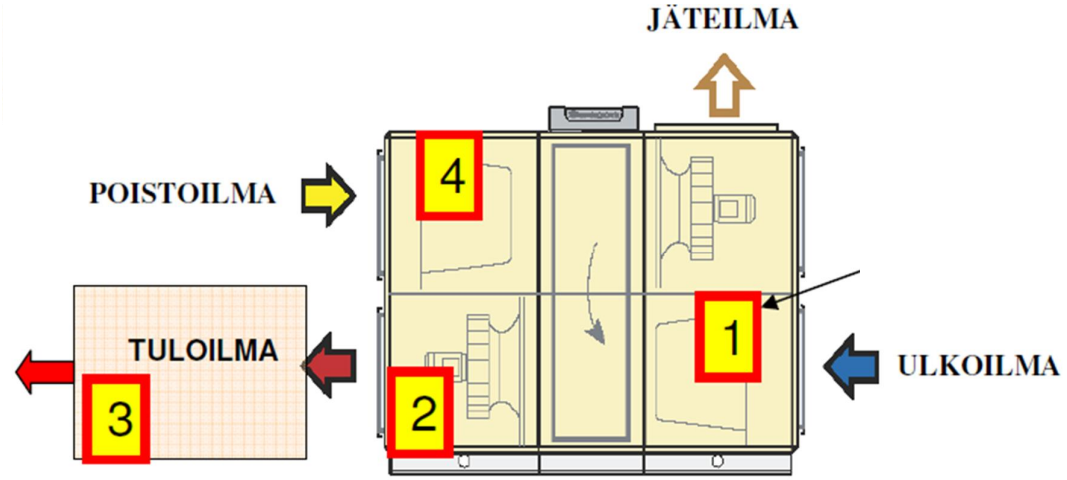
mutta ei kokonaan pois päältä. Ilmanvaihtokoneiden ohjauspaneelin 12.11.2009 luetut hetkelliset päivä- ja yöohjelman ilmavirrat on esitetty taulukossa 12.

*Taulukko 12. Ilmanvaihtokoneen ilmavirrat 12.11.2009. (Salo, 2009)*

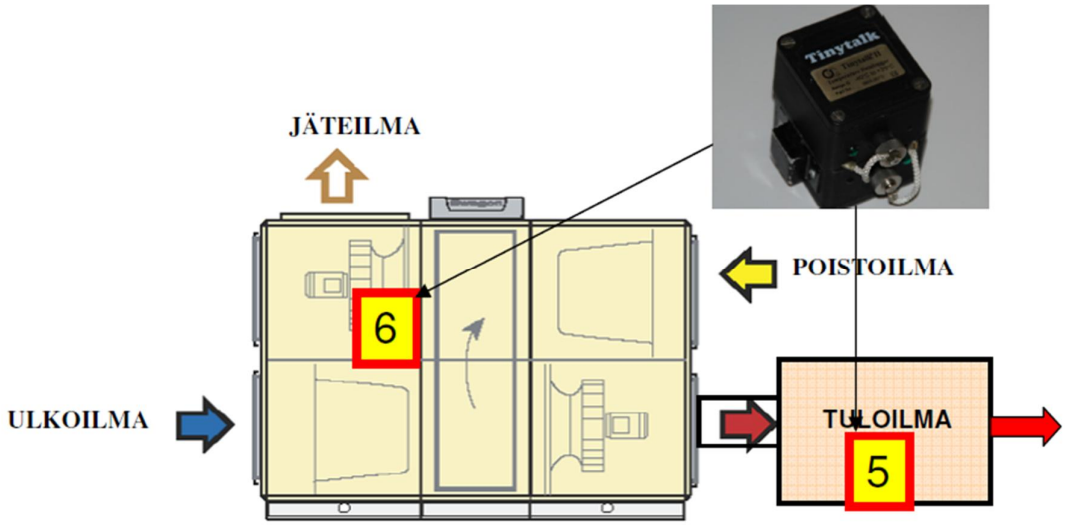
| Kone | | Iso ilmavirta ($m^3/s$) | Pieni ilmavirta ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|
| Ilmanviahtokone 1 | Tuloilma | 1,00 | 0,33 |
| | Poistoilma | 0,98 | 0,54 |
| Ilmanvaihtokone 2 | Tuloilma | 1,42 | 0,22 |
| | Poistoilma | 1,0 | 0,55 |
| Huippuimuri | | 0,4 | 0,2 |

Liikuntahallin vuoden 2008 kaukolämmön kulutus oli 172 MWh ja sähkön kulutus 93 MWh. Rakennuksen bruttopinta-alaan suhteutettuna kulutus on kaukolämmön osalta 78,5 kWh/brm$^2$ ja sähkön osalta 42,5 kWh/brm$^2$. Rakennuksessa on käytössä lattialämmitys myös salibandykentillä, joka pienentää ilmanvaihdon roolia kokonaisenergiankulutuksen kannalta. Lattialämmityksellä pystytään pienentämään ilman lämpötilakerrostumista tilassa.

Liikuntahallin ilmanvaihdon toiminnasta oli käytössä lyhyt mittausjakso 23.10 – 12.11.2009. Mittausjakson aikana liikuntahallin ilmanvaihdosta oli mitattu joitakin lämpötiloja ja suhteellisia kosteuksia. Liikuntahallin kahdesta ilmanvaihtokoneesta mitattiin erilaisia tietoja. Mitatut pisteet on esitetty kuvissa 13 & 14.




*Kuva 13 Ilmanvaihtokoneen 1 mitatut pisteet.*




*Kuva 14. Ilmanvaihtokoneen 2 mitatut pisteet. (Salo, 2009)*

Ilmanvaihdon kaukolämmön kulutuksen suuruutta arvioitiin ilmanvaihtokoneen 1 mittauspisteiden ja ilmanvaihdon ilmamäärien avulla. Arviointi ei ole luotettava, sillä mittausdataa oli käytettävissä varsin vähän ja ilmanvaihdon ilmamäärät perustuvat ilmanvaihdon ohjauspaneelista luettuihin hetkellisiin arvoihin. Arvioinnilla saadaan kuitenkin suuntaa antava kuva ilmanvaihdon roolista koko rakennuksen kaukolämmön kulutuksessa.

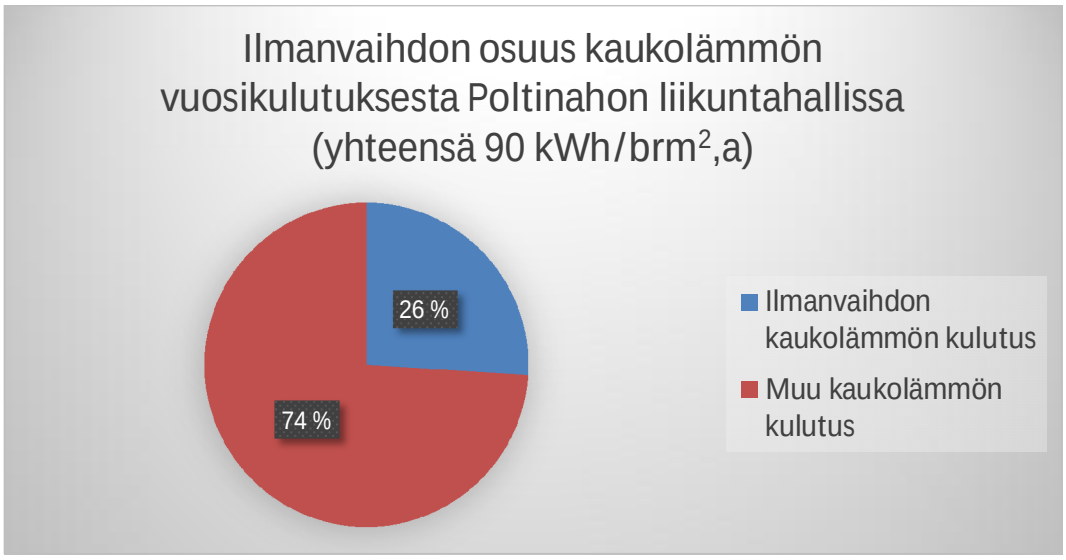
Ilmanvaihdon kaukolämmön kulutuksen laskenta perustuu yllä esitettyjen mittauspisteiden 3 ja 2 väliseen lämpötilaeroon ja ajankohtaa vastaavaan ilmavirtaan. Laskennassa oletettiin, että kyseisten pisteiden välillä tapahtuva lämpötilan nousu on saatu aikaiseksi vain kaukolämpöpatterin avulla, eikä tällä välillä ole muita lämmityslaitteita eikä kiertoilmapeltiä.

Päiväohjelman aikaista kaukolämmön kulutusta ilmanvaihdossa verrattiin raitisilman lämpötilaan, jonka perusteella muodostettiin yhteys niiden välille. Saadun keskinäisen suhteen perusteella arvioitiin ilmanvaihdon kaukolämmön kulutusta kuukausittain kuukauden keskilämpötilan perusteella koko tarkasteluvuoden aikana (2009). Yön aikainen lämmön kulutus määriteltiin vakioksi, sillä käytettävissä olleet mittaustulokset olivat hyvin hajanaisia, eikä niistä voitu muodostaa yhteyttä käytettävän kaukolämmön ja ulkoilman lämpötilan välille.

Koska mittaustulokset olivat peräisin vain ilmanvaihtokoneesta 1, piti toisen ilmanvaihtokoneen kaukolämmön kulutus arvioida 1 koneen perusteella. Toisen ilmanvaihtokoneen oletettiin kuluttavan suhteessa ilmamäärään saman verran kaukolämpöä kuin ilmanvaihtokone 1. Käytännössä laskennassa ilmanvaihdon kaukolämmön kulutukseen lisättiin toinen ilmanvaihtokone 1, jonka kulutus kerrottiin ilmanvaihtokoneiden ilmamäärien suhteella.

Laskennan tulokseksi saatiin, että ilmanvaihdon kaukolämmön kulutus Poltinahon salibandyhallissa oli noin 51,45 MWh (23,5 kWh/brm$^2$/a) vuonna 2009. Liikuntahallin vuoden 2009 kulutustietoja ei kuitenkaan ole käytettävissä, jolloin kulutusta verrataan välillisesti vuoden 2008 kulutustietoihin, jotka ovat käytettävissä. Vuonna 2008 liikuntahallin

kaukolämmön kokonaiskulutus oli 172 MWh. Otetaan kulutuksessa huomioon paikkakunnan astepäiväluvut vuosilta 2008 ja 2009. Hämeenlinnan astepäivälukuja ei ole tilastoitu ilmatieteen laitoksen toimesta, eikä kaupunki sijaitse minkään suuremman kaupungin läheisyydessä. Maantieteellisesti kaupunki sijaitsee kuitenkin samanlaisessa ympäristössä kuin Lahti. Tästä syystä käytetään Lahden astepäivälukuja, joka lisää tarkastelun virhemarginaalia. Lahden astepäiväluvut vuosille 2008 ja 2009 olivat 3769 Kd ja 4309 Kd. Näillä astepäiväluvuilla painotettuna liikuntahallin kaukolämmön kulutuksen olisi pitänyt olla noin 197 MWh (90,0 kWh/brm$^2$) vuonna 2009. Tähän kulutukseen suhteutettuna ilmanvaihdon osuus liikuntahallin kaukolämmön kulutuksesta oli noin 26 %, joka on esitetty myös kuvassa15.




*Kuva 15. Poltinahon liikuntahallin ilmanvaihdon osuus rakennuksen kaukolämmön kulutuksesta. Laskennallinen tarkastelu vuodelta 2009.*

Tarkastelussa on otettava huomioon, että Poltinahon salibandyhallin lämmitys on toteutettu lattialämmityksellä, joka pienentää ilmanvaihdon osuutta huomattavasti. Hallissa on lattialämmitys kaikissa tiloissa, mukaan lukien salibandykentillä. Koska halli ei ole ilmalämmitteinen, ilmanvaihdon ilmamäärät ovat ilmalämmitteisiä halleja selkeästi pienempiä ja täten myös ilmanvaihdon lämmitystarve on luonnollisesti pienempi. Ilmanvaihdon osuus kaukolämmön kokonaiskulutuksesta on kuitenkin merkittävä.

### 3.3.4 Tennishallien empiiriset kulutukset ja esimerkkihalli

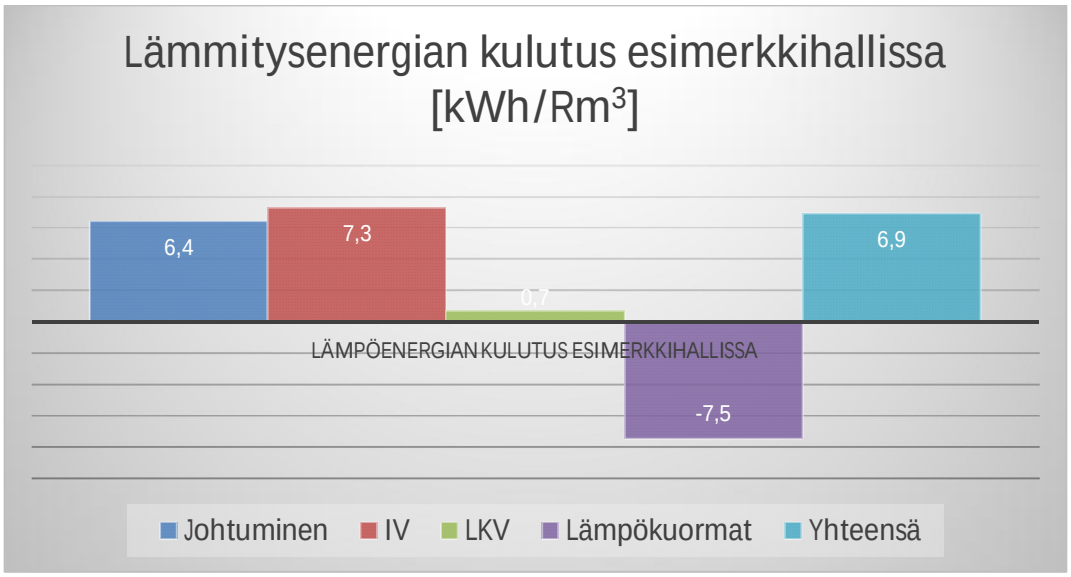
Nissinen (1993) esitteli tutkimuksessaan tennishallien taloudellisuuteen ja toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus piti sisällään 22 tennishallin empiiriset aineistot, joiden lisäksi tutkimuksessa esiteltiin esimerkkitennishalli, jotka käytettiin vertailukohteena. Tennishallit ovat yksi liikuntahallien muoto ja niissä esiintyvät tilakohtaiset haasteet pätevät yleensä myös muiden liikuntahallien kohdalla.

Tutkimus esitteli vertailukohteena 4 tenniskenttää sisältävän esimerkkitennishallin tarvittavineen oheistiloineen. Energiankulutuksen kannalta keskeisimmät tiedot liikuntahallista on esitetty taulukossa 13.

*Taulukko 13. Tutkimuksen esimerkkitennishallin energiankulutusta koskevat tiedot. Tiedot poimittu lähteestä (Nissinen, 1993).*

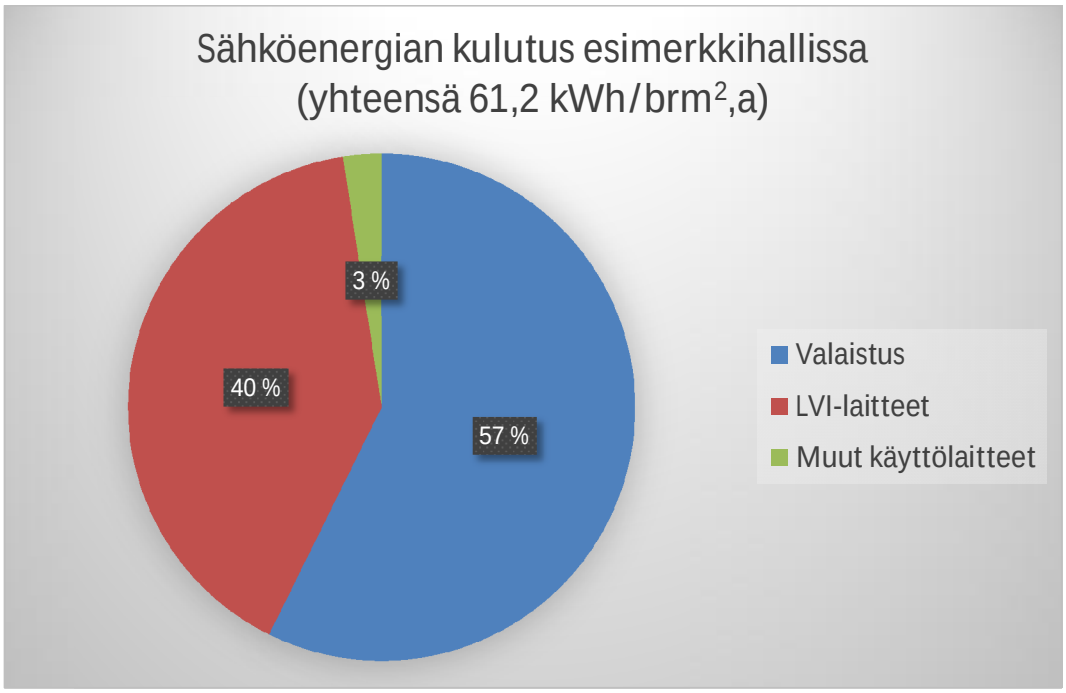
| Esimerkkiliikuntahallin tiedot | |
|---|---|
| Tenniskenttien lukumäärä | 4 kpl |
| Liikuntatilan bruttopinta-ala | 2785 $brm^2$ |
| Liikuntatilan keskikorkeus | 7,8 m |
| Oheistilojen bruttopinta-ala | 288 $brm^2$ |
| Oheistilojen keskikorkeus | 3,5 m |
| Rakennuksen tilavuus | 22838 $m^3$ |
| Hallin aukioloaika | 275 päivää vuodessa klo 8-22 |
| Käyttöaste | 75 % |
| Halliosan ja oheistilojen sisälämpötila | 17 °C / 20 °C |
| Paikkakunnan lämmityskauden keskilämpötila | +0,3 °C ($S_{17}$ 4250) |
| Ulkoseinien ja yläpohjan k-arvo (U-arvo) | 0,2 $W/m^2K$ |
| Alapohjan k-arvo (U-arvo) | 0,25 $W/m^2K$ |
| Valaistusteho | 7,2 kW/kenttä = 28,8 kW (4 kenttää) |
| Lämpöenergian ominaiskulutus | 51,4 $kWh/brm^2$,a |
| Sähköenergian ominaiskulutus | 61,2 $kWh/brm^2$,a |

Laskennallinen lämpöenergian kulutus esimerkkihallissa oli seuraava: Rakenteiden läpi (johtumishäviöt) 6,4 $kWh/Rm^3$ (146000kWh/a). Ilmanvaihto 7,3 $kWh/Rm^3$ (167000 kWh/a). LKV 0,7 $kWh/Rm^3$ (17000 kWh/a). Lämpökuorma hallissa 7,5 $kWh/Rm^3$ (172000 kWh/a) lähinnä hallin valaistuksesta. Yhteenlaskettu lämpöenergian tarve esimerkkihallissa oli 6,9 $kWh/Rm^3$ (158000 kWh/a, 51,4 kWh/brm2,a). Lämpöenergian kulutus on esitetty kuvassa 16.




*Kuva 16. Esimerkkihallin laskennallinen lämpöenergian kulutus. (Nissinen, 1993)*

Laskennallinen sähköenergian kulutus esimerkkihallissa oli seuraava: Hallin valaistus 4,7 kWh/Rm$^3$ (108000 kWh/a). LVI sähkölaitteet 3,3 kWh/Rm$^3$ (76000 kWh/a). Muut käyttölaitteet 0,2 kWh/Rm$^3$ (4000 kWh/a). Yhteenlaskettu sähköenergian tarve esimerkkihallissa oli 8,2 kWh/Rm$^3$ (188000 kWh/a, 61,2 kWh/brm2,a) Sähköenergian kulutus on esitetty kuvassa 17.




*Kuva 17. Esimerkkihallin laskennallinen sähköenergian kulutus. (Nissinen, 1993)*

Tutkimus esitteli myös empiirisiä tutkimustietoja tennishalleista. Tiedot sisälsivät hallien lämpö- ja sähköenergian sekä veden kulutustiedot. Tämän tutkimuksen osalta olemme kiinnostuneita kiinteiden tennishallien kulutustiedoista. Tutkimuskohteiden perustiedot on esitetty taulukossa 14. Tutkimuksen käytön taloudellisuustarkastelun empiirisen aineiston muodostivat 22 tutkimuskohdetta, jotka olivat:

- 17 kiinteää kohdetta (tennishalli, kohteiden numerot 1-17)
- 2 ylipainehallia (kohteiden numerot 21 ja 22)
- 3 yhdistelmäkohdetta, joissa oli sekä kiinteä (tennis)halli että ylipaine- tai kevytrakenteinen halli (kohteiden numerot 31–33)

*Taulukko 14. Tennishallitutkimuksen kohteiden perustietoja. (Nissinen, 1993)*

| Kohde | | Tennis-kenttien lkm | Brutto-ala | Tilavuus | Auki-oloaika | Käyttö-aste au-kiolo-ajasta | Tehokas käyttö |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $brm^2$ | $Rm^3$ | h/vko | | h/vko |
| 1 | Lieksa | 1 | 749 | 6250 | 70 | 0,75 | 53 |
| 2 | Eura | 2 | 1740 | 12600 | 74 | 0,70 | 52 |
| 3 | Kouvola | 2 | 1758 | 12300 | 112 | 0,85 | 95 |
| 4 | Harjav. | 2 | 1892 | 13740 | 71 | 0,65 | 46 |
| 5 | Martinm. | 2 | 1930 | 15260 | 82 | 0,85 | 70 |
| 6 | Kemin-maa | 2 | 2184 | 16537 | 96 | 0,70 | 67 |
| 7 | Uusik. | 2 | 2412 | 14800 | 91 | 0,65 | 59 |
| 8 | Savonl. | 2 | 2460 | 19500 | 99 | 0,85 | 84 |
| 9 | Nokia | 3 | 2956 | 21131 | 99 | 0,8 | 79 |
| 10 | Kajaani | 4 | 3366 | 27250 | 98 | 0,75 | 74 |
| 11 | Pori | 4 | 4122 | 36600 | 98 | 0,70 | 69 |
| 12 | Lahti | 4 | 4987 | 34875 | 107 | 0,85 | 91 |
| 13 | Joensuu | 4 | 5470 | 37800 | 98 | 0,75 | 74 |
| 14 | Nallikari | 5 | 5765 | 44100 | 98 | 0,75 | 74 |
| 15 | Tapiola | 7 | 5860 | 44160 | 112 | 0,95 | 106 |
| 16 | Vierum. | 6 | 6100 | 51000 | 112 | 0,75 | 84 |
| 17 | Tampere | 8 | 7799 | 68760 | 102 | 0,80 | 82 |
| 21 | Kuopio | 2 | 1330 | 9940 | 60 | 0,85 | 51 |
| 22 | Meilahti | 5 | 3040 | 19400 | 108 | 0,8 | 86 |
| 31 | Vaasa | 5 | 4814 | 40500 | 98 | 0,75 | 74 |
| 32 | Myllypuro | 11 | 9383 | 72200 | 126 | 0,85 | 107 |
| 33 | Tali | 15 | 11454 | 93500 | 199 | 0,90 | 107 |
| Pienin arvo | | 1 | 749 | | 60 | 0,65 | 46 |
| Suurin arvo | | 15 | 11454 | | 126 | 0,95 | 107 |
| Keskiarvo | | 4,5 | 4162 | | 97 | 0,78 | 76 |

Tutkimus esitteli lämpö- ja sähköenergian sekä veden kulutustietoja osasta kiinteitä tennishalleja. Kulutustiedot ovat pääsääntöisesti peräisin vuodelta 1990. Lämpöenergian kulutustiedot on esitetty taulukossa 15. Sähköenergian kulutustiedot on esitetty taulukossa 16. Kokonaisenergian kulutus on esitetty taulukossa 17. Veden kulutus on esitetty taulukossa 18. Energian ja veden kulutuksen jakautumiseen kiinteistöjen sisällä ei ole otettu kantaa.

*Taulukko 15. Lämpöenergian kulutus tennishalleissa. 10 kiinteän tennishallin tiedot. (Nissinen, 1993)*

| Kiinteä halli | | | | Todellinen paikkakunta | | | Vertailu-paikkakun-nalla |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nro | Kohde | brm2 | Rm3 | kWh/a | kWh/brm2a | kWh/Rm3a | kWh/Rm3a |
| 3 | Kouvola | 1758 | 12300 | 133000 | 75,7 | 10,8 | 11,3 |
| 10 | Kajaani | 3366 | 27250 | 75000 | 22,3 | 2,8 | 2,5 |
| 11 | Pori | 4122 | 36600 | 409000 | 99,2 | 11,2 | 12,2 |
| 12 | Lahti | 4987 | 34875 | 262000 | 52,5 | 7,5 | 7,8 |
| 13 | Joensuu | 5470 | 37800 | 627600 | 114,7 | 16,6 | 15,7 |
| 14 | Nalli-kari | 5765 | 44100 | 330000 | 57,2 | 7,5 | 7 |
| 15 | Tapiola | 5860 | 44160 | 374000 | 63,8 | 8,5 | 9,7 |
| 16 | Vieru-mäki | 6100 | 51000 | 272000 | 44,6 | 5,3 | 5,6 |
| 17 | Tam-pere | 7799 | 68760 | 341000 | 43,7 | 5,0 | 5,2 |
| 33a | Tali | 8530 | 73000 | 973000 | 114,1 | 13,3 | 15,2 |
| Pienin arvo | | | | | 22,3 | 2,8 | 2,5 |
| Suurin arvo | | | | | 114,7 | 16,6 | 15,7 |
| Keskiarvo | | | | | **68,8** | 8,8 | 9,2 |

*Taulukko 16. Kiinteiden tennishallien toteutunut sähköenergiankulutus. (Nissinen, 1993)*

| Kiinteä halli | | Pinta-ala | Tilavuus | Sähkönkulutus | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nro | Kohde | brm2 | Rm3 | kWh/a | kWh/brm2a | kWh/Rm3a |
| 3 | Kouvola | 1758 | 12300 | 129000 | 73,4 | 10,5 |
| 10 | Kajaani | 3366 | 27250 | 190000 | 56,4 | 7,0 |
| 11 | Pori | 4122 | 36600 | 300000 | 72,8 | 8,2 |
| 12 | Lahti | 4987 | 34875 | 417000 | 83,6 | 12,0 |
| 13 | Joensuu | 5470 | 37800 | 580000 | 106,0 | 15,3 |
| 14 | Nallikari | 5765 | 44100 | 450000 | 78,1 | 10,2 |
| 15 | Tapiola | 5860 | 44160 | 650000 | 110,9 | 14,7 |
| 16 | Vierumäki | 6100 | 51000 | 652000 | 106,9 | 12,8 |
| 17 | Tampere | 7799 | 68760 | 655000 | 84,0 | 9,5 |
| 33a | Tali | 8530 | 73000 | 1156000 | 135,5 | 15,8 |
| Pienin arvo | | | | | 56,4 | 7,0 |
| Suurin arvo | | | | | 135,5 | 15,8 |
| Keskiarvo | | | | | **90,8** | 11,6 |

*Taulukko 17. Tennishallitutkimuksen kohteiden toteutunut kokonaisenergiankulutus. (Nissinen, 1993)*

| Energiankulutus | | Tilavuus | Todellinen paikka | | Vertailupaikka | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kiinteät hallit | | | Kokonaisenergia | | Kokonaisenergia | |
| Nro | Kohde | $Rm^3$ | kWh/a | $kWh/Rm^3,a$ | kWh/a | $kWh/Rm^3,a$ |
| 1 | Lieksa | 6250 | 84000 | 13,4 | 78000 | 12,5 |
| 2 | Eura | 12600 | 115000 | 9,1 | 121000 | 9,6 |
| 3 | Kouvola | 12300 | 262000 | 21,3 | 268000 | 21,8 |
| 4 | Harjav. | 13740 | 153000 | 11,1 | 161000 | 11,7 |
| 5 | Mar-tinm. | 15260 | 178000 | 11,7 | 193000 | 12,6 |
| 6 | Kemin-maa | 16537 | 245000 | 14,8 | 228000 | 13,8 |
| 7 | Uusik. | 14800 | 213000 | 14,4 | 230000 | 15,5 |
| 8 | Savonl. | 19500 | 190000 | 9,7 | 190000 | 9,7 |
| 9 | Nokia | 21131 | 330000 | 15,6 | 338000 | 16,0 |
| 10 | Kajaani | 27250 | 265000 | 9,7 | 258000 | 9,5 |
| 11 | Pori | 36600 | 709000 | 19,4 | 747000 | 20,4 |
| 12 | Lahti | 34875 | 679000 | 19,5 | 689000 | 19,8 |
| 13 | Joensuu | 37800 | 1208000 | 32,0 | 1173000 | 31,0 |
| 14 | Nallikari | 44100 | 780000 | 17,7 | 759000 | 17,2 |
| 15 | Tapiola | 44160 | 1024000 | 23,2 | 1079000 | 24,4 |
| 16 | Vierum. | 51000 | 924000 | 18,1 | 938000 | 18,4 |
| 17 | Tampere | 68760 | 996000 | 14,5 | 1013000 | 14,7 |
| 33a | Tali | 73000 | 2129000 | 29,2 | 2274000 | 31,2 |
| Pienin arvo | | | | 9,1 | | 9,5 |
| Suurin arvo | | | | 32,0 | | 31,2 |
| Keskiarvo | | | | 16,9 | | 17,2 |

*Taulukko 18. Tennishallitutkimuksen kohteiden veden kulutuksia. (Nissinen, 1993)*

| Kiinteä halli | | Pinta-ala | Tilavuus | Veden kulutus | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nro | Kohde | brm2 | Rm3 | $m^3/a$ | $m^3/Rm^3,a$ | $m^3/brm^2,a$ |
| 2 | Eura | 1740 | 12600 | 320 | 0,03 | 0,18 |
| 3 | Kouvola | 1758 | 12300 | 299 | 0,02 | 0,17 |
| 5 | Martinm. | 1930 | 15260 | 421 | 0,03 | 0,22 |
| 6 | Keminmaa | 2184 | 16537 | 778 | 0,05 | 0,36 |
| 7 | Uusik. | 2412 | 14800 | 801 | 0,05 | 0,33 |
| 10 | Kajaani | 3366 | 27250 | 271 | 0,01 | 0,08 |
| 12 | Lahti | 4987 | 34875 | 2992 | 0,09 | 0,60 |
| 13 | Joensuu | 5470 | 37800 | 2048 | 0,05 | 0,37 |
| 14 | Nallikari | 5765 | 44100 | 2100 | 0,05 | 0,36 |
| 17 | Tampere | 7799 | 68760 | 1818 | 0,03 | 0,23 |
| Pienin arvo | | | | | 0,01 | 0,08 |
| Suurin arvo | | | | | 0,09 | 0,6 |
| Keskiarvo | | | | | 0,04 | 0,29 |

### 3.3.5 Sulkavan liikuntahalli

Partanen (2011) käsittelee opinnäytetyössään taajuusmuuttajien käytön hyötyjä ilmanvaihtokoneissa. Tarpeenmukaisen ja energiatehokkaan ilmanvaihdon avaintekijä on muuttuva ilmavirta, joka toteutetaan nykyään yleisesti taajuusmuuttajilla. Työssä esitellään myös Sulkavan liikuntahallin kulutustietoja, joita voidaan tässä työssä hyödyntää. Keskeiset tiedot Sulkavan liikuntahallista on esitetty taulukoissa 19 & 20.

*Taulukko 19. Sulkavan liikuntahallin dimensiot ja energian kokonaiskulutus. (Partanen, 2011)*

| | |
|---|---|
| Paikkakunta | Sulkava |
| Rakennusvuosi | 1990 |
| Bruttopinta-ala [$brm^2$] | 1806 |
| Tilavuus [$m^3$] | 11700 |
| Lämpöenergian mitattu kulutus 2008 [MWh] | 90 |
| Sähköenergian kulutus 2008 [MWh] | 186 |
| Veden kulutus 2008 [$m^3$] | 665 |

*Taulukko 20. Sulkavan liikuntahallin ominaiskulutukset vuonna 2008.*

| | |
|---|---|
| Lämpöenergian kulutus $kWh/brm^2a$ | 49,9 |
| Lämpöenergian kulutus $kWh/Rm^3a$ | 7,7 |
| Sähköenergian kulutus $kWh/brm^2a$ | 103,0 |
| Sähköenergian kulutus $kWh/Rm^3a$ | 15,9 |
| Veden kulutus $m^3/brm^2a$ | 0,368 |
| Veden kulutus $m^3/Rm^3a$ | 0,057 |

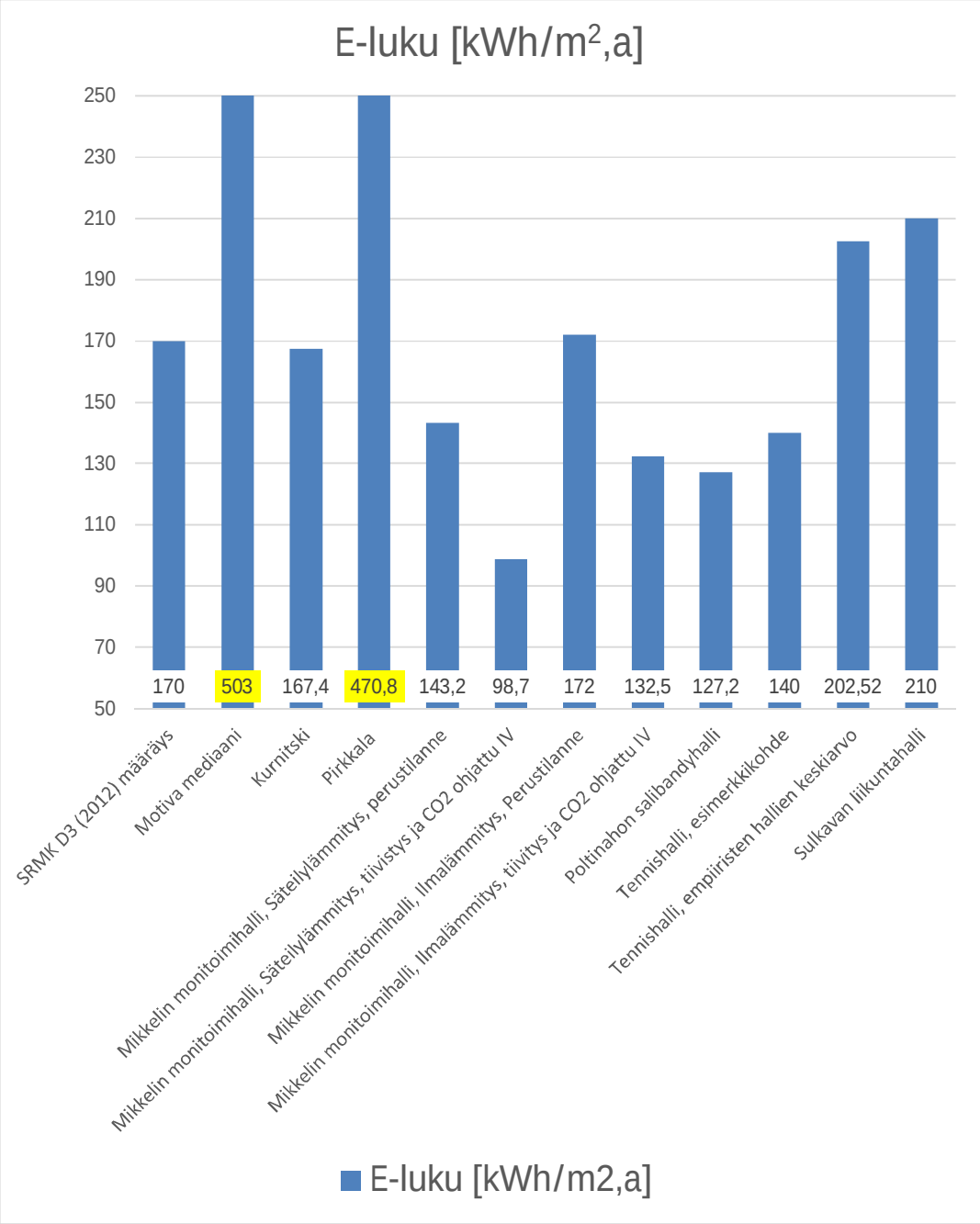
### 3.3.6 Yhteenveto hallien energiankulutuksista

Selkeämmän kokonaiskuvan muodostamiseksi tähän osioon on kerätty kaikkien edellä esitettyjen liikuntahallien laskennallisten ja mitattujen sähkö- ja lämpöenergian kulutukset. Jotta vertailu olisi mahdollista tehdä, tulee halleja tarkastella yhteisillä suureella. Hallien keskinäisissä vertailuissa käytettiin energian kulutuksien suhteita bruttopinta-alaan (ominaiskulutus) sekä tilavuuteen. Joidenkin kohteiden osalta tietoja näistä ei ollut saatavilla. Kohteesta esitetään myös E-luku, mikäli se on saatavilla tai laskettavissa. Kootut tulokset on esitetty taulukossa 21 ja esitetyt tiedot on kerätty myös kuvaajiksi (Kuva 18 - Kuva 20). Kuvaajien tarkastelun helpottamiseksi kuvaajan maksimiarvoja on rajattu. Arvot on esitetty myös numeroina pylväiden alaosassa. Korostevärillä esitetyt arvot ylittävät kuvaajan maksimiarvon.

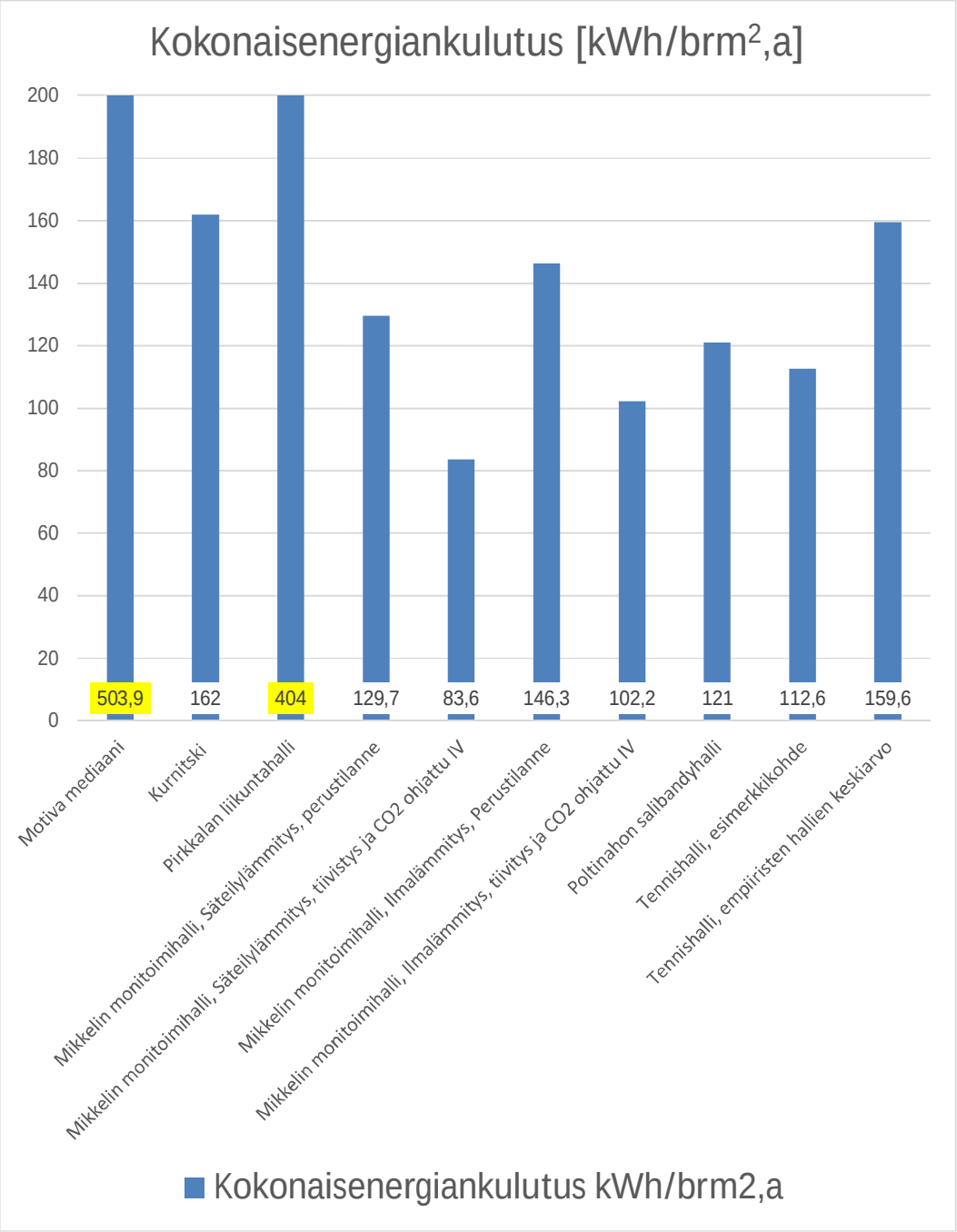
*Taulukko 21. Yhteenveto liikuntahallien ominaiskulutuksista.*

| Kohde/Lähde | Lämpöenergian kulutus kWh/brm$^2$a | Sähköenergian kulutus kWh/brm$^2$a | Lämpöenergian kulutus kWh/Rm$^3$a | Sähköenergian kulutus kWh/Rm$^3$a | Kokonaisenergian kulutus kWh/brm$^2$a | Kokonaisenergian kulutus kWh/Rm$^3$a | E-luku kWh/m$^2$a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SRMK D3 (2012) | - | - | - | - | - | - | 170 |
| Motiva | 353,7 | 150,2 | 45,7 | 19,4 | 503,9 | 65,1 | 503** |
| Motiva minimiarvot | - | - | 7,9 | 3,8 | - | - (11,7) **** | - |
| Motiva maksimiarvot | - | - | 135,1 | 105,8 | - | - (240,9) **** | - |
| Kurnitski (2009) | 108 | 54 | - | - | 162 | - | 167,4 (190)* |
| Pirkkalan liikuntahalli, (Tuomela, et al., 2003) | 216 | 188 | 44 | 38,1 | 404 | 82,1 | 470,8** |
| Mikkelin monitoimihalli, Säteilylämmitys, perustilanne | 77,3 | 52,4 | 6,74 | 4,57 | 129,7 | 11,31 | 143,2 |
| Mikkelin monitoimihalli, säteilylämmitys, tiivistys ja $CO_2$ ohjattu IV | 43,5 | 40,2 | 3,79 | 3,50 | 83,6 | 7,29 | 98,7 |
| Mikkelin monitoimihalli, ilmalämmitys, perustilanne | 76,6 | 69,7 | 6,68 | 6,07 | 146,3 | 12,75 | 172,0 |
| Mikkelin monitoimihalli, ilmalämmitys, tiivistys ja $CO_2$ ohjattu IV | 41,2 | 61 | 3,59 | 5,32 | 102,2 | 8,91 | 132,5 |
| Poltinahon salibandyhalli | 78,5 | 42,5 | - | - | 121 | - | 127,2** |
| Tennishalli, vertailukohde, (Nissinen, 1993) | 51,4 | 61,2 | 6,9 | 8,2 | 112,6 | 15,1 | 140,02*** |
| Tennishallien empiiristen mittausten keskiarvo (Nissinen, 1993) | 68,8 | 90,8 | 8,8 | 11,6 | 159,6 | 20,4 | 202,52*** |
| Sulkavan liikuntahalli | 49,9 | 103,0 | 7,7 | 15,9 | 152,9 | 23,6 | 210,03 |

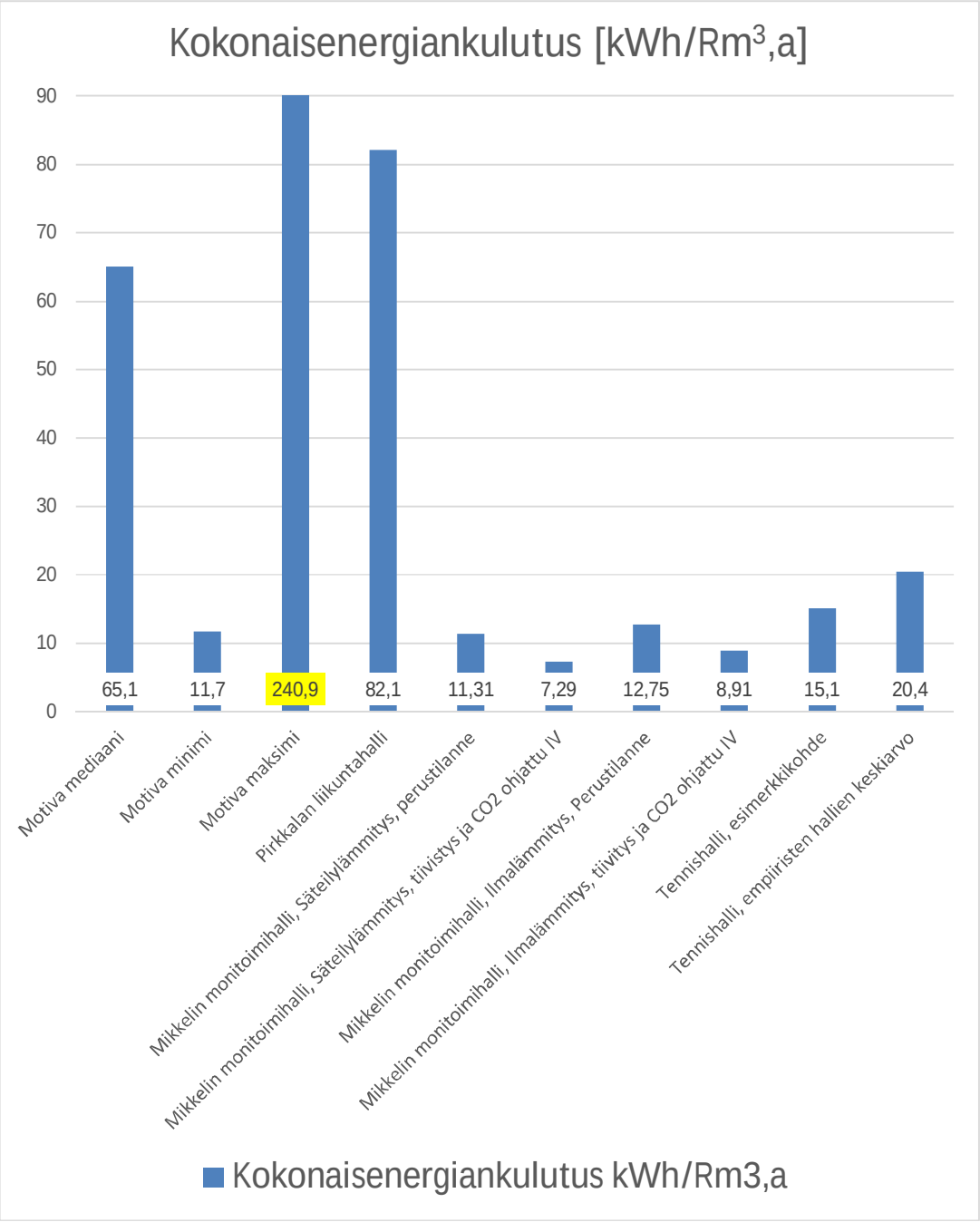
* E-luku on laskettu käyttäen painokertoimia 0,7 kaukolämmölle ja 1,7 sähkölle. Suluissa E-luku, jossa on käytetty painokertoimina 0,7 kaukolämmölle ja 2,0 sähkölle ja sen jälkeen pyöritetty ylöspäin.
** E-luku on laskettu käyttäen painokertoimia 0,7 kaukolämmölle ja 1,7 sähkölle.
*** Tennishallin lämmönlähteeksi on oletettu kaukolämpö. E-luku on laskettu käyttäen painokertoimia 0,7 kaukolämmölle ja 1,7 sähkölle.
**** Kokonaisenergiankulutusta ei voida laskea yhteen, sillä ei voida olla varmoja siitä, ovatko arvot samasta kohteesta. Suluissa on esitetty arvo teoreettiselle kohteelle, jossa yhdistyvät esitetyt lämpö- ja sähköenergian ominaiskulutukset.




*Kuva 18. Liikuntahallien E-lukuja. Tiedot taulukosta 21.*




*Kuva 19. Liikuntahallien kokonaisenergian ominaiskulutuksia. Tiedot taulukosta 21.*




*Kuva 20. Liikuntahallien kokonaisenergiankulutuksen suhde tilavuuteen. Tiedot taulukosta 21.*

## 3.4 Kaukolämmön kulutus liikuntahalleissa

Liikuntahallien toimintaan ei liity lämpöenergiaa kuluttavia erityistarpeita kuten esimerkiksi uimahallien kohdalla. Käytännössä lämpöenergian kulutus muodostuu sisätilojen ja ilmanvaihdon lämmityksestä sekä lämpimän käyttöveden valmistuksesta.

Valtaosa liikuntahalleissa kulutettavasta lämpöenergiasta käytetään tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen. Ilmalämmitteisissä halleissa nämä kaksi osiota yhdistyvät yhdeksi suureksi kokonaisuudeksi ilmanvaihdon alle. Myös energiatehokkaissa halleissa ilmanvaihdon osuus lämpöenergian kulutuksesta on aina merkittävä, sillä suuren tilan ilmanvaihto vaatii aina suurien ilmamäärien käsittelyä. Ilmanvaihdon lämpöenergian kulutusta voi madaltaa huomattavasti käyttämällä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Toinen liikuntahallien lämpöenergian kulutuksen tekijä on aina lämpimän käyttöveden (LKV) valmistus rakennuksessa. Veden kulutus liikuntahalleissa on kävijää kohden melko vakio. LKV ominaiskulutuksen laskenta-arvo on 343 $dm^3/m^2a$ (Ympäristöministeriö, 2012). Lämpimän käyttöveden valmistuksessa on aina huomioitava, että tarkoitusta varten on olemassa tarpeeksi korkealämpöinen lämmönlähde. Tämä saattaa muodostua haasteeksi matalalämpöisissä lämmönlähteissä, kuten esimerkiksi maalämpöpumpuissa. LKV valmistuksessa voidaan käyttää esimerkiksi sähkökäyttöistä lisä-/jälkilämmitintä tarpeeksi korkean lämpötilan saavuttamiseksi.

## 3.5 Sähkön kulutus liikuntahalleissa

Liikuntahallien sähkön kulutuksen keskeiset tekijät ovat tilojen valaistus sekä LVI-laitteiden sähkön kulutus. Muiden sähkölaitteiden sähkön kulutus voi olla hyvin vaihtelevaa, sillä itse liikuntatilassa sähkölaitteiden määrä on yleensä vähäinen, mutta oheistilojen laitteisto saattaa vaihdella merkittävästi. Sähkön kulutuksen jakautumiseen vaikuttavat merkittävästi hallin tekniset ratkaisut ja oheistilojen määrä sekä tyyppi.

Liikuntahallin liikuntatilan valaistus on yleensä keskeisessä asemassa koko rakennuksen sähkön kulutuksen kannalta. Valaistuksen voimakkuus ja lamppujen tehokkuus sekä valaistuksen ohjaus määräävät valaistuksen kuluttaman sähkön määrän. Nissinen (1993) esittelee tennishalleissa käytössä olevia valaistuksen tehokkuuksia, joiden keskiarvo on 11 $W/m^2$. Tarkempi taulukko tennishallien asennetuista valaistutehoista on liitteenä.

SRMK D5 (2012) mukaan liikuntarakennuksissa valaistuksen tyypillinen käyttöaika on 5000 tuntia vuodessa. Tämä vastaa käytännössä tilannetta, jossa valaistus on päällä aina kun liikuntahalli on auki. Arvo saattaa olla ylimitoitettu, sillä useat liikuntahallit ovat vuositasolla avoinna selvästi alle 5000 tuntia (vrt. kohta 2.6). Lisäksi on otettava huomioon, etteivät valot ole välttämättä päällä hallissa kun tilassa ei ole käyttäjiä esimerkiksi aamun ja aamupäivän aikana, vaikka halli olisi avoinna.

SRMK D3 (2012) esittää rakennuksen standardikäytön mukaiset sisäiset lämpökuormat, jotka on esitetty taulukossa 22. Liikuntahallien ollessa auki 14h päivässä 7 päivää viikossa aukioloajaksi saadaan 5110h vuodessa oletuksella, että halli on auki vuoden jokaisena päivänä. Todellisuudessa liikuntahallin aukioloajaksi voidaan olettaa noin 3950 tuntia vuodessa (vrt. kohta 2.6). Käyttöasteen ollessa 0,5 valaistuksen ja ihmisten aiheuttaman lämpökuorman laskennassa käytettäväksi ajaksi muodostuu 2555h. Valaistuksen

kohdalla käyttöajan ero SRMK D5 ja D3 välillä on merkittävä. 2555h vuotuisella käyttöajalla valaistuksen lämpökuormaksi muodostuu 30,66 kWh/m$^2$,a, joka on samalla liikuntahallin valaistuksen sähköenergian kulutus. 5000h vuotuisella käyttöajalla valaistuksen sähköenergian kulutus on 60 kWh/m$^2$,a. Valaistuksen sähköenergian kulutuksen keskeinen tekijä on täten käytön ohjaus. Liikuntatilassa olevaa voimakasta valaistusta tulisi käyttää vain, jos tilassa on käyttäjiä. Valaistuksen turha käyttö nostaa sähköenergian kulutusta merkittävästi.

*Taulukko 22. Rakennusten standardikäyttö ja laskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti (Ympäristöministeriö, 2012).*

| Käyttötarkoitusluokka | Kellonaika[d] | Käyttöaika | | Käyttöaste | Valaistus | Kuluttajalaitteet | Ihmiset[a] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | h/24h | d/7d | - | W/m$^2$ | W/m$^2$ | W/m$^2$ |
| Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo | 00:00-24:00 | 24 | 7 | 0,6 | 8[b,c] | 3 | 2 |
| Asuinkerrostalo | 00:00-24:00 | 24 | 7 | 0,6 | 11[b,c] | 4 | 3 |
| Toimistorakennus | 07:00-18:00 | 11 | 5 | 0,65 | 12[c] | 12 | 5 |
| Liikerakennus | 08:00-21:00 | 13 | 6 | 1 | 19[c] | 1 | 2 |
| Majoitusliikerakennus | 00:00-24:00 | 24 | 7 | 0,3 | 14[c] | 4 | 4 |
| Opetusrakennus ja päiväkoti | 08:00-16:00 | 8 | 5 | 0,6 | 18[c] | 8 | 14 |
| Liikuntahalli | 08:00-22:00 | 14 | 7 | 0,5 | 12[c] | 0 | 5 |
| Sairaala | 00:00-24:00 | 24 | 7 | 0,6 | 9[c] | 9 | 8 |

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6
b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1
c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.
d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

SRMK D5 (2007) on esitetty rakennustyyppikohtaisia ominaissähköenergiankulutuksen arvoja, joita voidaan käyttää laskennassa, mikäli rakennuksen pinta-alaa tarkempia tietoja ei ole käytettävissä. Ominaissähköenergiankulutuksen arvot rakennustyypeittäin on esitetty taulukossa 23. Arvoja voidaan pitää suuntaa antavina vaikka ne ovat vanhentuneita. Sähkön kulutuksessa on kuitenkin rakennuskohtaisesti isoja eroja. Taulukossa esitetty sähkönkulutus liikuntarakennuksille on 180 kWh/brm$^2$/vuosi. Liikuntahallien kohdalla muiden kuin valaistuksen ja ilmanvaihtojärjestelmien sähkön kulutus on kuitenkin yleensä pieni, jolloin taulukossa esitetty 79 kWh/brm$^2$/vuosi on todennäköisesti todellista kulutusta merkittävästi suurempi. Liikuntahallien varustelutaso muiden sähkölaitteiden osalta voidaan olettaa olevan toimistorakennuksen luokkaa lukuun ottamatta itse liikuntatilaa, jossa muita laitteita ei yleensä ole. Täten liikuntahallin ominaissähköenergiankulutukseksi voidaan arvioida noin 110 – 130 kWh/brm$^2$/vuosi.

*Taulukko 23. Rakennustyyppikohtaisia ominaissähköenergiankulutuksia (Ympäristöministeriö, 2007).*

| Rakennustyyppi | **Laitteiden sähkönkulutus yhteensä** $W_{laitesähkö}$ **kWh/brm²/vuosi** | Valaistus-järjestelmä $W_{valaistus}$ kWh/brm²/vuosi | Ilmanvaihto-järjestelmä $W_{ilmanvaihto}$ kWh/brm²/vuosi | Muut laitteet $W_{muut\ laitteet}$ kWh/brm²/vuosi |
|---|---|---|---|---|
| Asuinkerrostalo | **50** | **7** | **10** | 33 |
| Rivitalo | **50** | **7** | **7** | 36 |
| Pientalo | **50** | **7** | **7** | 36 |
| Toimistorakennus | **70** | 30 | 12 | 28 |
| Opetusrakennus | **60** | 23 | 12 | 25 |
| Liikerakennus | **80** | 48 | 17 | 15 |
| Hotelli | **110** | 60 | 17 | 33 |
| Ravintola | **110** | 42 | 36 | 32 |
| Liikuntarakennus | **180** | 60 | 41 | 79 |
| Sairaala | **100** | 60 | 28 | 12 |
| Muut rakennukset | **100** | 30 | 11 | 59 |

Valaistuksen lisäksi suuri osa kulutetusta sähköenergiasta käytetään LVI-laitteissa. Tällä osa-alueella keskeisessä roolissa on ilmanvaihto, jonka ilmamäärät ja sitä kautta puhaltimien tehot ovat korkeat. Ilmanvaihdon sähköenergian kulutukseen voidaan vaikuttaa tehokkaalla ilmanvaihdon ohjauksella. Ilmanvaihdon puhaltimien lisäksi LVI-laitteiden sähköenergian kulutukseen vaikuttavat erilaiset pumput järjestelmässä.

## 3.6 Liikuntahallien ilmanvaihtoratkaisut

Liikuntahalleissa käytettävät ilmanvaihtoratkaisut poikkeavat toisistaan merkittävästi. Suomessa esiintyy runsaasti niin energiatehokkaita kuin -tehottomiakin ratkaisuja. Pääsääntöisesti uusien liikuntahallien ilmanvaihdossa käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa, joka parantaa energiatehokkuutta merkittävästi. Vanhoissa kohteissa ilmanvaihto saattaa olla vanhentunut ja yleisin ohjausperiaate on aikaohjaus.

Parkkila (2011) esittelee opinnäytetyössään Kaustisen liikuntahallin saneerauksen (1472 $m^2$) ja laajennuksen (1494 $m^2$) yhteydessä toteutetun ilmanvaihdon suunnittelun tuloksia. Työ edustaa nykyaikaista käytännön tilannetta, jossa vanha ilmanvaihto uusitaan ja laajennusosaan suunnitellaan nykyaikainen, tarpeenmukainen ilmanvaihto. Saneerattavan tilan osalta ilmanvaihtokoneet uusitaan sekä liikuntatilassa että sosiaalitiloissa. Molempien ilmanvaihtokoneiden käyttöä jatketaan aikaohjelman mukaisesti siten, että puhaltimet käyvät täydellä nopeudella aikaohjelman puitteissa. Aikaohjelman ulkopuolella liikuntatilan ilmanvaihto on pysähdyksissä ja sosiaalitilojen ilmanvaihto minimi-ilmavirralla. Laajennusosan ilmanvaihtoa käytetään myös aikaohjelman mukaisesti, mutta käyttöaikana ohjausparametrina käytetään liikuntatilan $CO_2$ pitoisuutta. Laajennusosan liikuntatilan lämmitys on toteutettu lattialämmityksen ja kiertoilmalämmityksen yhdistelmänä. Yöllä ilmanvaihto on laajennusosassa pysähdyksissä. Ilmanvaihto on kaikkialla rakennuksessa sekoittava.

Kivinen (2015) käsitteli myös opinnäytetyössään saneeraus (1155 $m^2$) ja laajennusprojektia (1211 $m^2$) Tampereen ammattikorkeakoulun L-talossa. Työn tavoitteena oli löytää

kohteeseen energiatehokkaita ratkaisuja siten, ettei rakennuksen energian kulutus kasva lähtötilanteeseen verrattuna, vaikka rakennuksen pinta-ala kasvaa merkittävästi. Keskeinen osa energiatehokkuuden parantamista oli liikuntatilan ilmanvaihdon toteutus tarpeenmukaisesti perustuen VOC-antureihin ja läsnäolotunnistimiin. Kaikkien tilojen ilmanvaihdossa käytettiin tehokkaita lämmön talteenottolaitteita. Liikuntatilan ilmanvaihto suunniteltiin syrjäyttäväksi.

Kamula (2015) tutki opinnäytetyössään Ylivieskan liikuntakeskuksen energiatehokkuuden parantamista. Liikuntakeskukseen kuuluivat myös tennishalli ja liikuntasali, joiden tietoja käytetään tässä työssä. Sekä tennishallin että liikuntasalin ilmanvaihtolaitteistot olivat vanhentuneita. Ilmanvaihtokoneet olivat alkuperäiset, vuosilta 1986 (tennishalli) ja 1968 (liikuntasali). Ilmanvaihdot kävivät aikaohjelman mukaisesti täydellä teholla. Muulloin koneet olivat pysähdyksissä. Ilmanvaihdon uusimisen lämpö- ja sähköenergian säästöpotentiaalit olivat näissä kohteessa merkittävät.

Partanen (2011) käsitteli opinnäytetyössään taajuusmuuttajien käytön hyötyjä käytössä olevissa ilmanvaihtokoneissa. Työssä esitellyn Sulkavan liikuntahallin ilmanvaihto oli toteutettu aikaohjauksella siten, että koneet kävivät joko täys- tai puoliteholla. Aikaohjelman ulkopuolella koneet olivat pysähdyksissä. Ilmanvaihdossa oli regeneratiivinen lämmön talteenotto mutta ei taajuusmuuttajaa.

Olin & Ulmanen (2009) insinöörityössä esiteltiin kahden Helsingissä sijaitsevan koulun energian kulutustietoja ja ilmanvaihtoratkaisuja, joihin kuuluivat myös liikuntasalien energiankulutukset. Tarkasteltavat koulut ovat vuonna 1965 rakennettu Ala-Malmin koulu ja vuonna 1989 rakennettu Pihkapuiston koulu.

Pihkapuiston koulun liikuntasalin vanha ilmanvaihto oli vuodelta 1999 ja sitä käytettiin aikaohjelman mukaisesti täydellä teholla. Aikaohjelman ulkopuolella ilmanvaihto oli pysähdyksissä. Tilan ilmanvaihto oli käyttäjien mielestä puutteellinen ja ilma tunkkainen. Liikuntasalin ilmanvaihtoon suunniteltiin uudet tasavirtamoottoreilla toimivat puhaltimet, jotka mahdollistivat tarpeenmukaisen ja portaattoman ilmanvaihdon säädön. Lisäksi liikuntasaliin asennettiin hiilidioksidimittareita, joiden tuloksia käytettiin ilmanvaihdon ohjausparametreina. Tilan hiilidioksidipitoisuus pyrittiin pitämään välillä 600 – 900 ppm. Ilmanvaihdon puhaltimien ja ohjausperiaatteen muutos vähensi ilmanvaihdon energian tarvetta merkittävästi. (Olin & Ulmanen, 2009)

Ala-Malmin koulun liikuntasalin ilmanvaihtokone oli varustettu nykyisin yleisesti käytetyillä taajuusmuuttajilla. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ei kuitenkaan liikuntasalissa voinut käyttää, sillä suunnitteluvirheen takia joitakin luokkahuoneita oli liitetty liikuntasalin ilmanvaihdon piiriin. Tästä syystä ilmanvaihtoa oli pakko käyttää täydellä teholla aikaohjelman mukaisesti. (Olin & Ulmanen, 2009)

## 3.7 Liikuntahallien energian hankinta

Liikuntahallien energiatehokkuuden tarkastelussa on lähtökohtaisesti kyse siitä, miten paljon lämpö- ja sähköenergiaa halli tarvitsee toimiakseen ja tuottaakseen sen tarjoamat palvelut. Täten tarkastelun keskeisessä roolissa ovat energiaa kuluttavien prosessien ja järjestelmien kulutukset ja niiden minimoiminen. Energiatehokkuuden kokonaiskuvan kannalta on kuitenkin aina myös huomioitava miten vaadittava energia tuotetaan tai tuodaan tilaan.

Sähköenergian käytön osalta vaihtoehdot ovat hyvin vähäiset. Käytännössä sähkö tulee aina ostaa sähköverkosta, sillä paikallisen sähkön pientuotannon mahdollisuuden ovat Suomessa hyvin rajalliset. Ostettavan sähkön kulutusta voidaan pienentää esimerkiksi aurinkopaneeleilla tai pientuuliturbiineilla, mutta kyseisten järjestelmien takaisinmaksuajat ovat usein pitkiä ja aiheuttavat ylimääräisiä huolto- ja ylläpitokustannuksia. Tekniikan jatkuva kehittyminen saattaa kuitenkin mahdollistaa edullisten sähkön pientuotantoratkaisujen yleistymisen lyhyelläkin aikavälillä.

Liikuntahallissa vaadittavan lämpöenergian tuotannon suhteen on käytettävissä lukuisia eri vaihtoehtoja. Mikäli rakennusalueella on käytettävissä kaukolämpöä, on sen käyttö todennäköisesti järkevää. Kaukolämpöä voidaan käyttää päälämmönlähteenä tai sillä voidaan kattaa lämmityshuippujen ja korkeita lämpötiloja vaativien prosessien lämmitystarpeita. Kaukolämmön käytössä tulee aina huomioida liittymismaksut, eikä päällekkäisiä lämmitysratkaisuja yleensä suositella.

Toinen nykyisin yleisesti käytettävä lämmöntuottomuoto on lämpöpumppu, joka voidaan toteuttaa esim. maa-, vesi, ilma tai poistoilmalämpöpumppuna. Ratkaisu tuottaa rakennuksen vaatiman lämpöenergian sähköllä, mutta nykyisten laitteiden korkealla hyötysuhteella ratkaisu on yleensä energiatehokas. Lämpöpumppujen käytössä on huomioitava, että kyseessä on matalalämpöinen lämmönlähde, joka vaikuttaa lämmitysjärjestelmän, lämmönjaon ja lämpimän käyttöveden valmistuksen suunnitteluun. Matalalämpöisen lämmönlähteen rinnalle tarvitaan usein korkealämpöinen lisä- ja/tai jälkilämmitys, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi sähköllä tai kaukolämmöllä huomioiden investointikustannukset.

Lämmön tuotannossa saatetaan käyttää etenkin vanhoissa liikuntahalleissa muitakin ratkaisuja, mutta todennäköisesti yllä esitetyt vaihtoehdot ovat nykyaikaisen liikuntahallin kohdalla energiateknisesti järkevimmät. Vanhan lämmitysjärjestelmän kohdalla tulee aina huomioida järjestelmän uusimisen tai päivittämisen aiheuttamat investointikustannukset ja niiden takaisinmaksuajat.

Lämpöenergian hankinnassa voidaan hyödyntää myös lähialueen lauhdelämpöä. Esimerkiksi liikuntahallin lähistöllä sijaitseva jäähalli tai palvelinkeskus saattavat tuottaa merkittäviä määriä lauhdelämpöä, joka on käytännössä ilmaista energiaa. Lauhdelämmön hyödyntämisen mahdollisuus on selvitettävä, sillä lauhteen käyttö voi laskea liikuntahallin käyttökustannuksia merkittävästi. Vaihtoehtoiset lämmitysratkaisut tulee huomioida etenkin suurissa liikuntakeskuksissa.

Yhden ainoan oikean lämmitystavan määritteleminen liikuntahalleille on mahdotonta, sillä ratkaisu tulee aina etsiä kohdekohtaisesti. Ratkaisuun vaikuttavat niin rakennuksen sijainti kuin energian hinta. Lämmitysmuodon valinnassa tulisi myös pyrkiä huomioimaan tulevaisuuden kehityssuunta esim. energian hinnan ja saatavuuden osalta. Lämmitysjärjestelmän joustavuus muutoksille on myös suotavaa ottaa huomioon, mikäli se on mahdollista.

## 3.8 Liikuntahallien jäähdytys

Liikuntahallien lämpöteknisessä suunnittelussa on otettava huomioon myös rakennuksen jäähdytystarve. Vaikka Suomen ilmasto on valtaosan ajasta sisäilman olosuhteita viileämpää, saattaa hallitsematon ylilämpeneminen aiheuttaa merkittävää haittaa käyttäjien viihtyvyydelle. Hyvin eristetyt rakenteet yhdistettynä suuriin lämpökuormiin saattavat aiheuttaa liikuntahalliin merkittävän jäähdytystarpeen. SRMK D3 (2012) mukaisesti liikuntahallin kesän aikainen sisälämpötila ei saa ylittää 25 °C jäähdytysrajaa yli 150 astetuntia.

Rakennuksen jäähdytyksessä on ensisijaisesti huomioitava kesän aikaiset lämpökuormat tilassa. Keskisimpiä liikuntahallien lämpökuormia ovat tilan käyttäjät, valaistus, sekä luonnonvalo.

Liikuntahallin jäähdytys on ensisijaisesti toteutettava rakenteellisin ja passiivisin keinoin sekä tehostamalla yöaikaista ilmanvaihtoa (Ympäristöministeriö, 2012). Passiivisiin keinoihin kuuluvat mm. erilaiset aurinkosuojat ja varjot sekä ikkunoiden selektiivipinnoitteet, joilla estetään auringonvalon haitallinen lämmittävä vaikutus kesällä.

Rakenteellisiin ja samalla passiivisiin ratkaisuihin kuuluvat massiiviset rakenteet, jotka tasaavat lämpötilavaihteluja ja pienentävät merkittävästi jäähdytystarpeen huippuja (Balaras, 1995). Massiivirakenteisissa rakennuksissa lämpöenergia varastoituu väliaikaisesti rakenteisiin, joka vapautuu myöhemmin tasaisempana lämpökuormana. Lämpökuormien amplitudi ja vapautumisen hitaus ovat riippuvaisia rakenteen massiivisuudesta. Massiivisten rakenteiden kohdalla on aina huomioitava myös lämpöenergian luovutusajankohta, sillä lämpökuormien päällekkäisyyttä tulee välttää. Liikuntahalleissa massiivisiin rakenteisiin keskipäivällä varastoitunut lämpöenergia vapautuu tilaan viiveellä iltapäivällä, jolloin tilassa saattaa olla merkittävästi suurempi käyttäjämäärä. Tällöin sopimattomaan aikaan vapautuva varastoitunut lämpö saattaa aiheuttaa ylilämpöongelmia tilassa. Myös liikuntatilan suuri ilmatilavuus lisää hallin termistä massaa ja tasaa osaltaan lämpötilavaihteluja.

Kesäkauden termisen viihtyvyyden keskeinen tekijä on luonnollisen jäähdytyksen käyttö kun siihen on mahdollisuus. Eräs keino laskea sisäilman lämpötilaa on lisätä tilan ilmanvaihtoa esimerkiksi avaamalla ikkunoita tai ovia, joka ei kuitenkaan ole liikuntahallien liikuntatiloissa kovin tehokas tapa. Liikuntatiloissa on yleensä vähän tai ei ollenkaan ikkunoita ja myös ovien määrä on pieni. Liikuntahallien oheistilojen kohdalla ikkunoiden ja ovien avaaminen on helppo ja nopea keino vähentää ylilämpöongelmia.

Kesällä yön aikainen ulkoilman lämpötila on yleensä merkittävästi 18 °C:tta matalampi, jota voidaan hyödyntää yöjäähdytyksellä. Yöjäähdytyksessä rakennuksen ilmanvaihto käynnistetään yöllä ja tilaa jäähdytetään viileällä ulkoilmalla. Menetelmä kuluttaa sähköenergiaa käyttämällä ilmanvaihdon puhaltimia, mutta se vähentää puolestaan ilmanvaihdon tarvetta päivällä. Yöjäähdytyksellä voidaan ”varata” rakennukseen kylmää. Esimerkiksi (massiivisten) rakenteiden jäähdyttäminen yöllä muodostaa rakennukselle puskurin, joka estää tilan liiallisen lämpenemisen lämpökuormien huipun aikana.

Mikäli rakennuksen kesän aikaisia lämpötiloja ei pystytä tehokkaasti hallitsemaan passiivisilla keinoilla, pitää jäähdytys toteuttaa koneellisesti. Jäähdytysenergian kulutus tulee

joka tapauksessa pyrkiä minimoimaan ja koneellisen jäähdytyksen suunnittelussa on otettava erityisesti huomioon se, ettei järjestelmä pyri jäähdytyksen aikana samalla lämmittämään tilaa esim. virheellisten ohjausparametrien takia.

Käytännössä rakennusten koneellinen jäähdytys toteutetaan yleensä ilmastoinnilla. Ilmanvaihdon yhteyteen sijoitetulla jäähdytyspatterilla viilennetään tilan tuloilman lämpötilaa niin paljon, että tilan sisäilman lämpötila pysyy halutulla tasolla.

Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin jäähdytys voidaan toteuttaa esimerkiksi maalämpöpumpulla, joka mahdollistaa maalämpöpiirin käytön myös jäähdytyksessä. Jos maalämpöpiiriä käytetään jäähdytykseen, varataan samalla maahan ylimääräistä lämpöä, joka parantaa taas laitteen lämmityksen tehokkuutta talvella. Lämpöpumppu voi olla myös erillinen ja siitä syntyvää lämpöä voidaan käyttää esimerkiksi lämpimän käyttöveden valmistukseen.

Rakennuksen jäähdytyksessä voidaan hyödyntää myös ilman lämpötilakerrostumista. Tilassa kerrostuva ilma muodostaa kylmimmän ilman vyöhykkeen lähelle lattiaa, oleskeluvyöhykkeelle. Ylilämpöinen ilma hallin yläosissa ei vaikuta käyttäjien viihtyvyyteen. Syrjäyttävää ilmanvaihtoa käyttämällä näiden vyöhykkeiden ilmat eivät sekoitu ja jäähdytys voidaan kohdistaa suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Syrjäytysilmanvaihdon vaikutus jäähdytykseen on merkittävä varsinkin jos tilassa ei ole koneellista jäähdytystä. (Rakennustieto Oy, 1998)

# 4 Case-kohde Summahalli Espoon Tapiolassa

## *4.1 Energiatehokkuuden perustiedot*


*Kuva 21. Summahalli Espoon Tapiolassa.*

Tässä kappaleessa esitettyihin taulukoihin 24 & 25 on kerätty keskeisiä tietoja Espoon Tapiolassa sijaitsevasta Summahallista (entinen Honkahalli) (Kuva 21). Tiedot perustuvat hallihenkilökunnan haastatteluihin sekä teknisiin asiakirjoihin ja piirustuksiin. Hallin kuukausittaiset kulutustiedot on esitetty liitteenä. Hallissa pelataan enimmäkseen koripalloa.

*Taulukko 24. Summahallin dimensiot ja lämmitysmuoto.*

| | |
|---|---|
| Liikuntahallin nimi ja paikkakunta | Summahalli, Espoo (Tapiola) |
| Hallin rakennusvuosi | kevät 2011 |
| Rakennuksen bruttopinta-ala | 3055 |
| Liikuntatilan pinta-ala | 2155 |
| Liikuntatilan korkeus | max. 10.23m |
| Liikuntatilan vapaa korkeus | 7m |
| Tilavuus $m^3$ | 24000 |
| Rakennuksen lämmityksen lämmönlähde (esim. kaukolämpö, maalämpöpumppu, ilmalämpö-pumppu) | Kaukolämpö |
| Lämmityksen toteutusmuoto (esim. ilmalämmi-tys, patterilämmitys tai lattialämmitys) | Liikuntatilassa: Ilmalämmitys<br>Oheistiloissa: Lattialämmitys (Oheisliikuntatilassa ilma- ja säh-köpatterilämmitys) |

*Taulukko 25. Summahallin energiateknisiä lähtötietoja.*

| | |
|---|---|
| Rakenteiden läpi joh-tuva lämpövirta | Ulkoseinät ja Yläpohja: 824 W/K<br>Alapohja: 10,4 kW (maan lämpötilaksi oletettu tasainen 5 °C ja sisälämpötilaksi 21 °C) |
| Ilmanvaihdon toimin-nan kuvaaminen ja mi-toitusarvot | Molemmat IV koneet ovat taajuusmuuttajaohjattuja perus-tuen kanavapaineiden pitämiseen asetusarvossaan. Ilman-vaihto on kaikissa tiloissa sekoittava.<br><br>**Liikuntatila**:<br><br>Ilmanvaihdon puhaltimien teho: 7,5 kW + 7,5 kW<br><br>Moottoriteho verkosta: Tulokone 6,64 kW, Poistokone 6,08 kW<br><br>Koneen ulkopuolinen staattinen painehäviö: Tulo 300 Pa , poisto 350 Pa<br><br>Ilmanvaihtokoneen sisäiset painehäviöt: Tulo 362 Pa, Poisto 287 Pa<br><br>SFP: 2,3 kW/($m^3$/s); Tulo 1,17 Poisto 1,13<br><br>Mitoitusilmavirta: Tulo 5,2 $m^3$/s ja poisto 5,2 $m^3$/s<br>LTO: regeneratiivinen (pyörivä kiekko), (lämpötilahyöty-suhde 73 %)<br><br>Yötuuletus käytössä. Käynnistys kun Ts yli 20 °C, Tu yli 1 °C viileämpää kuin Ts ja klo välillä 00.00 – 07.00. Pysäytys kun Ts laskenut 18°C tai dT alle 1 °C. |

| | |
|---|---|
| | **Oheistilat**:<br>Mitoitusilmavirrat 2,2 m3/s tulo ja poisto.<br>Ristivirtalevylämmönsiirrin LTO. (lämpötilahyötysuhde 53,1 %.)<br>Puhaltimet: tulo ja poisto. Molempien teho 4 kW. Moottoriteho verkosta tulo 3,19 kW, poisto 2,84 kW, Koneen ulkopuolinen painehäviö molemmissa 300 Pa.<br><br>Ilmanvaihtokoneen sisäiset painehäviöt: Tulo 413 Pa, Poisto 314 Pa.<br><br>SFP tulo 1,32. Poisto 1,24. Tulo-poisto SFP 2,56.<br><br>IV/LJ-huone:<br>Poistoilmapuhallin 2PK1<br>Poistoilmavirta 0,22 m3/s |
| Automaation hyödynnettävissä oleva tieto | Ilmanvaihdon ohjausperuste: Aikaohjelma (lisäaikapainikkeilla).<br>**Liikuntatilan IV 1TK1**:<br>Aikaohjelman kellonajat:<br>Normaali käyttöaika (muu kuin kesä): Arkisin ilmanvaihto käy täydellä teholla aikavälillä 14.00 – 23.00. Aikavälillä 7-14 IV käy puoliteholla. Muulloin ilmanvaihto on seisontatilassa. Viikonloppuisin ilmanvaihto on täydellä teholla aikavälillä 8-23 ja muuten seis.<br><br>Kesäaika (noin 5 viikkoa): IV manuaalikäytöllä tarpeen mukaan: täysteho käytön aikana, ½-teho muina aikoina ja yöllä seis.<br><br>Tuloilman lämpötilaa säädetään poistoilman lämpötilan mukaan.<br><br>Tulo- ja poistoilmakanavien kanavapaineita pidetään asetusarvoissaan säätämällä taajuusmuuttajilla tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden käyntinopeutta. Kanavapaineille on määritelty asetusarvot täys- ja osateholle (täysi ja puolitettu ilmavirta).<br><br>**Sosiaalitilojen IV 1TK2**:<br>Aikaohjelman kellonajat:<br>Aikavälillä 8.00 – 22.00 IV käy täysteholla, muuten seisontatilassa<br><br>Tuloilman lämpötilaa säädetään poistoilman lämpötilan mukaan.<br><br>Tulo- ja poistoilmakanavien kanavapaineita pidetään asetusarvoissaan säätämällä taajuusmuuttajilla tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden käyntinopeutta. Kanavapaineille on |

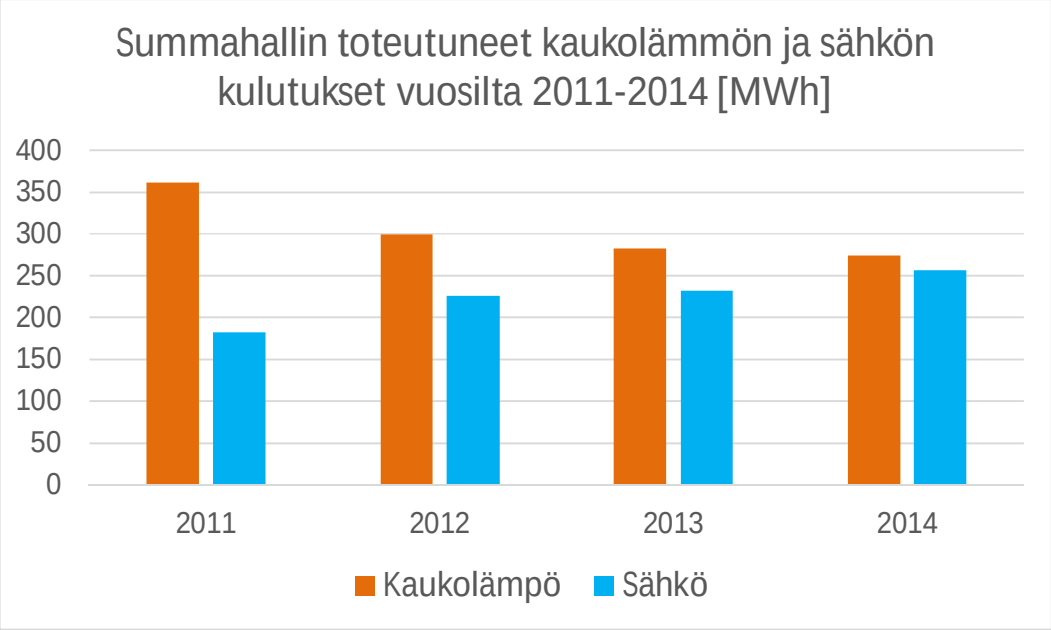
| | |
|---|---|
| | määritelty asetusarvot täys- ja osateholle (täysi ja puolitettu ilmavirta).<br><br>Automaatiokaaviot molemmista koneista on esitetty liitteenä. |
| Valaistuksen teho ja käyttöaika | **Liikuntatilan valaistus:**<br>Valaisimien määrä: 150 kpl Glamox C51-S 349HF SLS - 3x49W T5 49W HO (1.000) valaisimia<br>Yhden valaisimen teho: 156 W<br>Valaistuksen kokonaisteho (max): 23,4 kW<br>Valon määrä: 1935000 lm (12900/kpl)<br>Keskimääräiset luxit (1m korkeudella): 541 lx<br>Mahdolliset käyttötavat: 0,1/3 teho, 2/3 teho ja 1/1 teho<br>Ohjaustapa: Manuaalinen, Henkilökunta säätää<br><br>Arvioitu käyttöaika eri käyttöprofiileilla:<br>Normaali käyttöprofiili:<br>Arki:<br>klo 8 – 14: 1/1-teho, huom. vain 2 päivää viikossa<br>klo 14 – 16: 1/3-teho<br>klo 16 – 22. 1/1 teho<br>Viikonloppu:<br>klo 8-22 1/1-teho<br><br>**Muiden tilojen valaistus:**<br>Sosiaali- ja oheistiloissa normaali valaistus, jossa ohjaus kytkimillä. Pukuhuoneissa liiketunnistimilla ohjatut valaisimet. |
| Kävijämäärät hallissa | Normaali käyttöprofiili (kevät, talvi, syksy):<br>Arki:<br>klo 8 - 14: 20 - 30 hlö<br>klo 14 - 16: 50 – 60 hlö<br>klo 16 - 22: 150 – 200 hlö<br>Viikonloppu:<br>klo 8 – 20: 200 – 250 hlö<br><br>Rakennuksen arvioitu käyttö aste on noin 70 %. |

## 4.2 Toteutunut energian ja veden vuosikulutus

Summahallin lämpöenergian lähde on kaukolämpö. Hallihenkilökunta seuraa toteutuneita kaukolämpö- ja sähköenergian sekä veden kulutuksia kuukausitasolla. Tietoja on kerätty hallin valmistumisesta asti vuonna 2011. Edellisten vuosien kokonaiskulutukset on esitetty taulukossa 26 ja kuvassa 22.

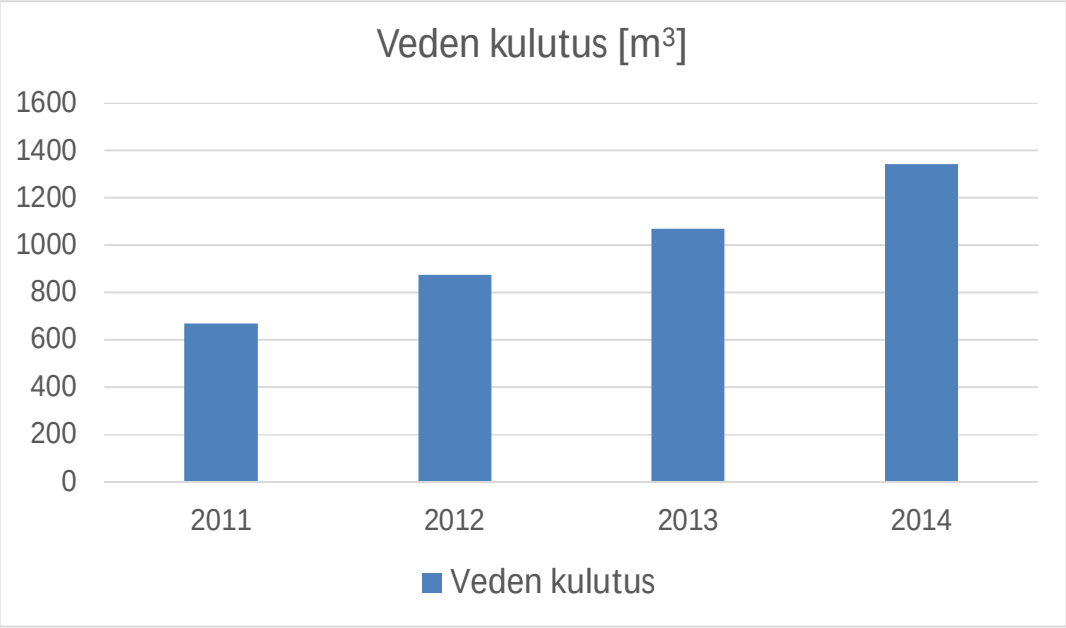
*Taulukko 26. Summahallin toteutuneet energian ja veden kulutukset vuosilta 2011 - 2014.*

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Keskiarvo |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaukolämmön kokonaiskulutus MWh/a | 361,5 | 299,4 | 282,8 | 274,4 | 304,5 |
| Kaukolämmön ominaiskulutus kWh/brm2 | 118,3 | 98,0 | 92,6 | 89,8 | 99,7 |
| Kaukolämmön kulutus per tilavuus kWh/m3 | 15,1 | 12,5 | 11,8 | 11,4 | 12,7 |
| Sähkön kokonaiskulutus MWh | 182,0 | 226,0 | 232,0 | 256,0 | 224,0 |
| Sähkön ominaiskulutus kWh/brm2 | 59,6 | 74,0 | 75,9 | 83,8 | 73,3 |
| Sähkön kulutus per tilavuus kWh/m3 | 7,6 | 9,4 | 9,7 | 10,7 | 9,3 |
| Veden kokonaiskulutus m3 | 668,0 | 874,0 | 1070,0 | 1343,0 | 988,8 |
| Veden ominaiskulutus m3/brm2 | 0,219 | 0,286 | 0,350 | 0,440 | 0,324 |
| Veden kulutus per tilavuus m3/m3 | 0,028 | 0,036 | 0,045 | 0,056 | 0,041 |




*Kuva 22. Summahallin kaukolämmön ja sähkön kulutuksien muutokset vuosina 2011-2014.*

Kuvasta 22 nähdään energian kulutuksen kehityksen trendi hallin valmistumisen jälkeen. Kaukolämmön kulutus on pienentynyt vuoden 2011 tasosta merkittävästi (24 %) neljän vuoden aikana. Samalla sähköenergian kulutus on kuitenkin kasvanut noin 41 % vuoden 2011 tasosta. Yhteenlasketun energiankulutuksen kehitys on ollut ensimmäiset 3 vuotta laskujohteinen, mutta vuoden 2014 kokonaisenergian kulutus on selvästi vuotta 2013 suurempi. Tämä saattaa osittain johtua myös kasvaneesta veden kulutuksesta.




*Kuva 23. Summahallin veden kulutus vuosina 2011–2014.*

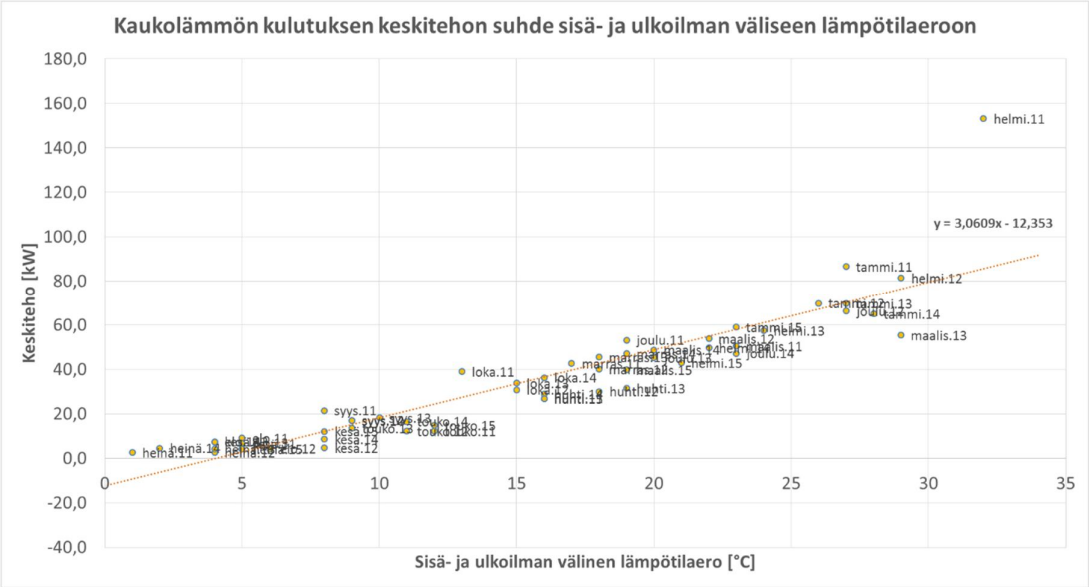
Kuvan 23 mukaisesti Summahallin veden kulutus on kasvanut jatkuvasti hallin valmistumisen jälkeen. Vuoden 2011 lähtötasoon verrattuna vuoden 2014 veden kulutus on noin kaksinkertainen (+ 101 %). Kasvu on merkittävä ja vaikuttaa osaltaan myös kaukolämmön tarpeeseen, sillä noin 40 - 50 % käytetystä vedestä käytetään lämpimänä käyttövetenä.

## 4.3 Kuukausitason kulutustietojen suhde ulkoilman lämpötilaan

Liikuntahallin kuukausittaiset kaukolämmön kulutukset riippuvat voimakkaasti ulkoilman lämpötilasta, sillä suurin osa lämpöenergian tarpeesta muodostuu tilojen lämmityksestä. Tästä syystä on luontevaa verrata toteutuneita kulutuksia ulkoilman lämpötiloihin eikä pelkästään keskenään.

Vertailu tehdään tässä työssä seuraavasti. Kuukausittaisia kaukolämmön kulutuksen keskitehon arvoja verrataan sisälämpötilan ja kyseisen kuukauden ulkolämpötilan väliseen lämpötilaeroon. Tämänlainen vertailu ottaa automaattisesti huomioon ulkoilman lämpötilojen vaihtelun vaikutukset lämpöenergian kulutukseen sekä kuukausien eriävät pituudet. Kulutuksen keskiteho on laskettu jakamalla kuukauden kulutus [kWh] kuukauden tunneilla. Tätä vertailumenetelmää voidaan käyttää myös muiden liikuntahallien kohdalla, jolloin hallien tuloksia voidaan vertailla keskenään. Kyseessä olevaa menetelmää on käytetty myös uima- ja jäähallien kulutustietojen analysoinnissa, joka tekee tästä vertailumenetelmästä joustavan työkalun urheilupaikkarakentamisen energiatehokkuuden vertailussa (Yli-Rosti, 2012) (Räikkönen, 2012). Sisäilman lämpötilana on käytetty 21 °C, sillä hallin lämpötila on ollut jatkuvasti suositeltua 18 °C merkittävästi korkeampi, joka todettiin myös vuoden 2013 mittaustuloksista (vrt. kohta 4.4).

Summahallin kaukolämmön kulutuksen suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon on esitetty kuvassa 24. Kuvaan lisätyt merkinnät pisteiden ajankohdista saattavat sekoittaa keskiarvosuoran lähistöllä olevien pisteiden tarkastelua, mutta merkinnät auttavat erottamaan paremmin poikkeukselliset pisteet kuten esimerkiksi vuoden 2011 helmikuun (helmi.11).



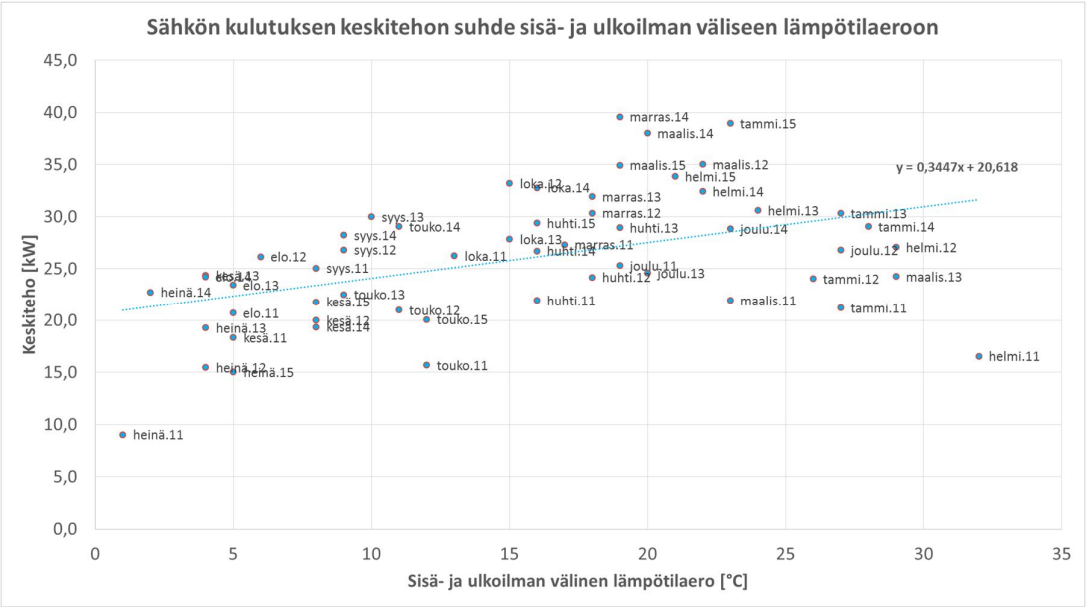

*Kuva 24. Summahallin kaukolämmön kulutuksen keskitehon suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. Keskiarvosuoran yhtälö y=3,0609X-12,353.*

Kuvan 24 perusteella voidaan tehdä useita karkeita tulkintoja Summahallin energiatekniseestä toiminnasta. Suurin osa pisteistä sijoittuvat keskiarvosuoran lähelle eikä merkittävää hajontaa ole havaittavissa. Tämä on osoitus siitä, että kaukolämmön kulutuksen suhde ulkoilman lämpötilaan on selkeä (kuten pitääkin olla). Ainoa poikkeus on vuoden 2011 helmikuu, jossa kaukolämmön kulutus on merkittävästi suurempaa kuin sen pitäisi keskiarvojanan mukaisesti olla. Helmikuun keskilämpötila Espoossa oli -11 °C ja alin mitattu lämpötila -27 °C (Weather underground, 2015). Ulkoilman lämpötilan ollessa erittäin kylmä se saattaa aiheuttaa liikuntahallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton jäätymistä, joka nostaa energiankulutusta merkittävästi. Havaitun korkean kulutuksen johdosta saattaa olla aiheellista tarkistaa liikuntahallin toimintaa erityisen kylmissä olosuhteissa (mitoitustilanteessa).

Kuvaan piirretty keskiarvosuora kertoo, miten hyvin kaukolämmön kulutus seuraa sisä- ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa. Suoralle määriteltävä yhtälö kuvaa myös lukuina tämän suhteen. Suoran kulmakerroin on Summahallin tapauksessa 3,0609 eli noin 3. Tämä tarkoittaa, että kaukolämmön kulutuksen keskiteho nousee tai laskee noin 3 kW jokaista lämpötilaeron muutosastetta kohti. Esimerkiksi liikuntatilan lämpötilan keskiarvon pudottaminen 21 °C:sta 19 °C:een vähentäisi kaukolämmön kulutuksen keskitehoa noin 6 kW joka vastaa vuositasolla noin 53 MWh säästöä kaukolämmön kulutuksessa.

Kulutuksen keskiarvosuoran vakio-osa on Summahallin kohdalla negatiivinen (-12,353). Suoran vakio-osa pyrkii kuvaamaan hallin kulutusta silloin, kun hallissa ei ole lämmitystarvetta. Kun sisä- ja ulkoilman lämpötilat ovat samat, voidaan olettaa kaiken kaukolämmön kulutuksen aiheutuvan lämpimän käyttöveden valmistuksesta. Kulutus ei voi kuitenkaan olla negatiivista. Tästä syystä lämpimän käyttöveden kulutuksen aiheuttamaa kaukolämmön kulutusta pitää tässä tapauksessa tarkastella lämpimien kesäkuukausien ajalta. Summahallin tapauksessa kesän lämpimien kuukausien aikainen kaukolämmön kulutus on erittäin pientä. Tähän vaikuttaa myös se, että hallissa on kesällä normaalitilannetta vähemmän käyttäjiä, joka näkyy myös lämpimän käyttöveden kulutuksessa.

Sähkön kulutuksen keskitehon suhdetta sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon voidaan tarkastella samalla tavalla kuin kaukolämmön kohdalla. Sähkön kulutuksella ei kuitenkaan ole yhtä vahvaa suhdetta sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon, sillä sähköä käyttäviä prosesseja käytetään usein riippumattomasti ulkoilman lämpötilasta. Esimerkiksi liikuntatilan valaistuksen käyttö on riippuvainen kävijämääristä eikä ulkoilman lämpötilasta. Summahallin sähköenergian kulutuksen keskitehon suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon on esitetty kuvassa 25.

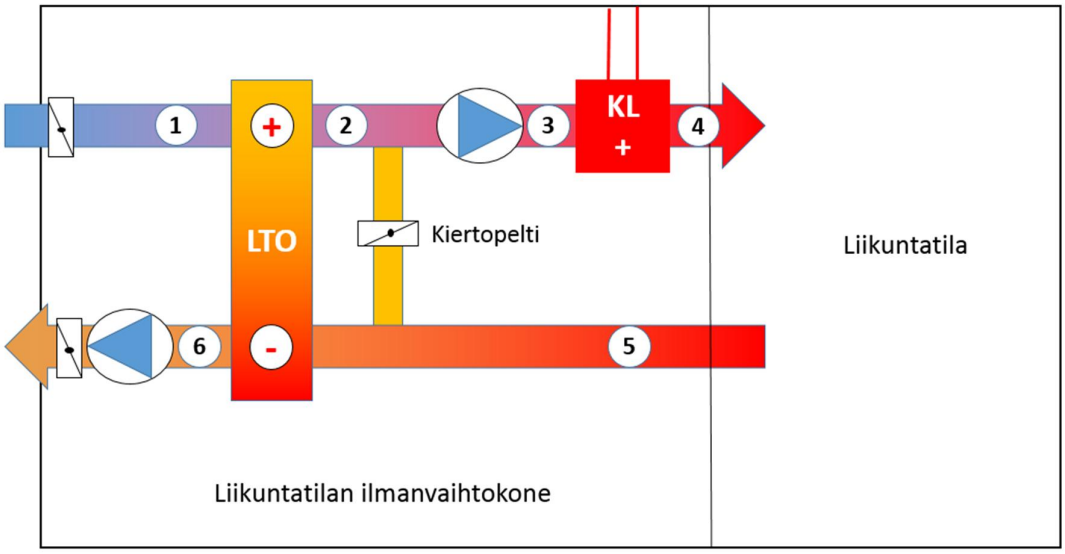



*Kuva 25. Summahallin sähköenergian kulutuksen suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon.*

## 4.4 Mittaustulokset ilmanvaihdosta

Kohdassa 3.3 esitettyjen liikuntahallien energiankulutuksien jakautumisen perusteella voidaan todeta, että liikuntahallin energiatehokkuuden kannalta keskeisessä roolissa on hallin liikuntatilan ilmanvaihto ja tilan lämmitys. Ilmalämmitteisissä Summahallissa nämä kaksi tekijää yhdistyvät.

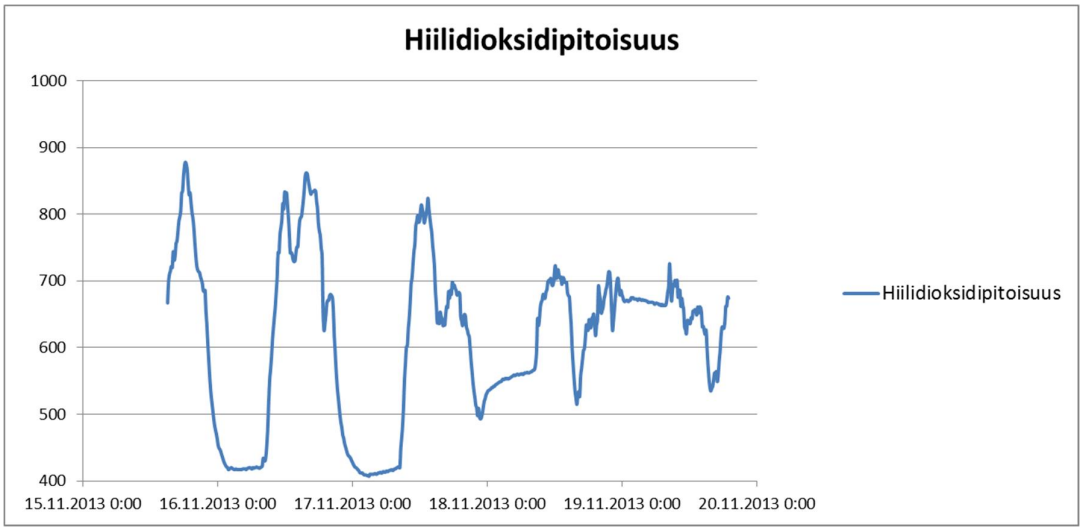
Summahallin energiatehokkuuden tarkastelussa hyödynnetään Marraskuussa 2013 tehdyistä mittauksista saatua dataa. Mittausjakson ajankohta oli 15. – 27.11.2013. Poistoilman mittalaite oli kuitenkin sammunut tuntemattomasta syystä jo 19.11. noin klo. 19.00, joka rajoittaa mittausdatan käsittelyä. Mittaukset kohdistuivat hallin liikuntatilan ilmanvaihtoon ja sisälsivät lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja ilmanvaihtokoneen eri pisteissä. Lisäksi poistoilmasta mitattiin ilman hiilidioksidipitoisuus. Tarkempi kuvaus mittauspisteistä, niiden sijainnista ja mitatuista suureista on esitetty kuvassa 26. Ilmanvaihdon ilmavirtoja ei mitattu, eikä niitä ollut mahdollista saada automaation kautta tätä työtä tehdessä. Ilmavirtojen puuttuminen rajasi merkittävästi mittaustietojen hyödyntämisen mahdollisuuksia. Esimerkiksi energiavirtojen tarkempaa erittelyä ei voitu arvioida ilmavirtojen keskeisen roolin takia.




*Kuva 26. Summahallin mittauspisteiden sijainnit liikuntatilan ilmanvaihtokoneessa. Kaikista mittauspisteistä mitattiin lämpötila ja suhteellinen kosteus. Mittauspisteestä 5 mitattiin näiden lisäksi myös hiilidioksidipitoisuus.*

Mittaustuloksilla voidaan kuvata sisäilmassa vallinnut hiilidioksidipitoisuus, lämmön talteenoton hyötysuhteet eri tavoilla laskettuna sekä korrelaatio liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman ja poistoilman lämpötilojen välillä. Muiden tekijöiden laskeminen vaatisi tietoja ilmavirroista.

Summahallin liikuntatilassa vallinnut hiilidioksidipitoisuus ei mittausjakson aikana noussut haitallisen korkeaksi. Korkein mitattu hiilidioksidipitoisuuden arvo oli 878 ppm ja koko mittausjakson aikainen keskiarvo 614 ppm. Nämä arvot ovat selvästi SRMK D2 (2012) ohjeellista raja-arvoa, 1200 ppm matalampia. Mittausjakson aikainen hiilidioksidipitoisuus liikuntatilan poistoilmassa on esitetty kuvassa 27. Hallin ollessa tyhjillään hiilidioksidipitoisuus laski ulkoilman tasolle. Mittausjakson aikana Summahallissa järjestettiin myös turnaus, jolloin tilassa oli hiilidioksidituottoa myös normaalien käyttöaikojen ulkopuolella.




*Kuva 27. Mittausjakson aikainen hiilidioksidipitoisuus liikuntatilan poistoilmassa.*

Mittaustuloksien perusteella laskettiin lämmön talteenoton hyötysuhde neljällä tavalla. Lämmön talteenoton hyötysuhde laskettiin sekä lämpötila- että entalpiahyötysuhteina tulo- ja poistoilmavirroille kaavojen 4 – 7 mukaisesti. Kaavoissa ”T” viittaa lämpötiloihin ja ”h” entalpioihin. Alaindeksillä ”tulo” merkattu tuloilma kuvaa ilman tilaa heti lämmön talteenoton jälkeen, eikä sitä pidä sekoittaa tiloihin puhallettavaan tuloilmaan. Laskennassa oletettiin tulo- ja poistoilmavirtojen olleen yhtä suuria ilmanvaihdon ollessa päiväohjelman mukaisesti käytössä.

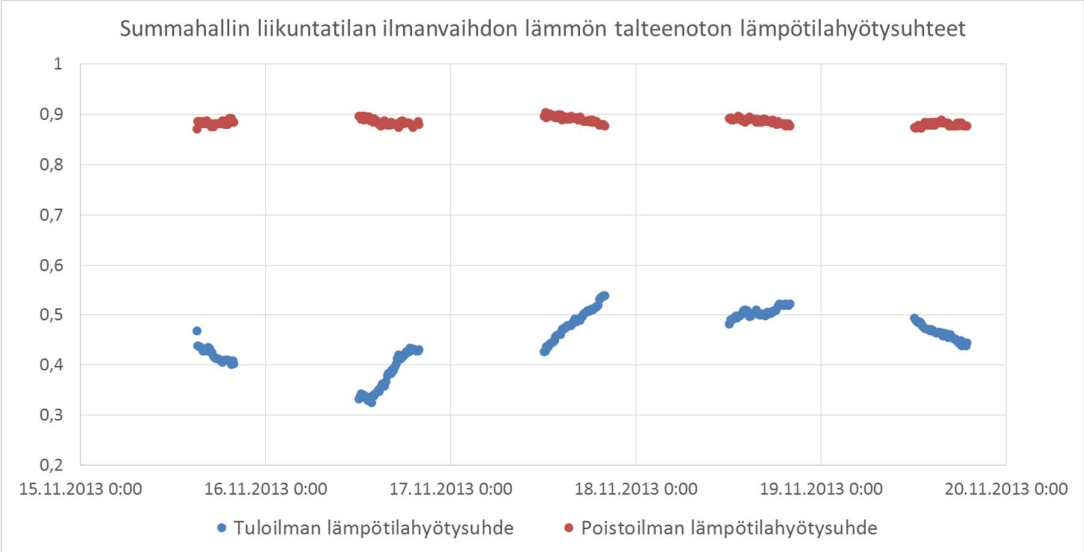
$$\eta_{T,tulo} = \frac{T_{tulo} - T_{raitis}}{T_{poisto} - T_{raitis}} \quad (4)$$

$$\eta_{T,poisto} = \frac{T_{poisto} - T_{jäte}}{T_{poisto} - T_{raitis}} \quad (5)$$

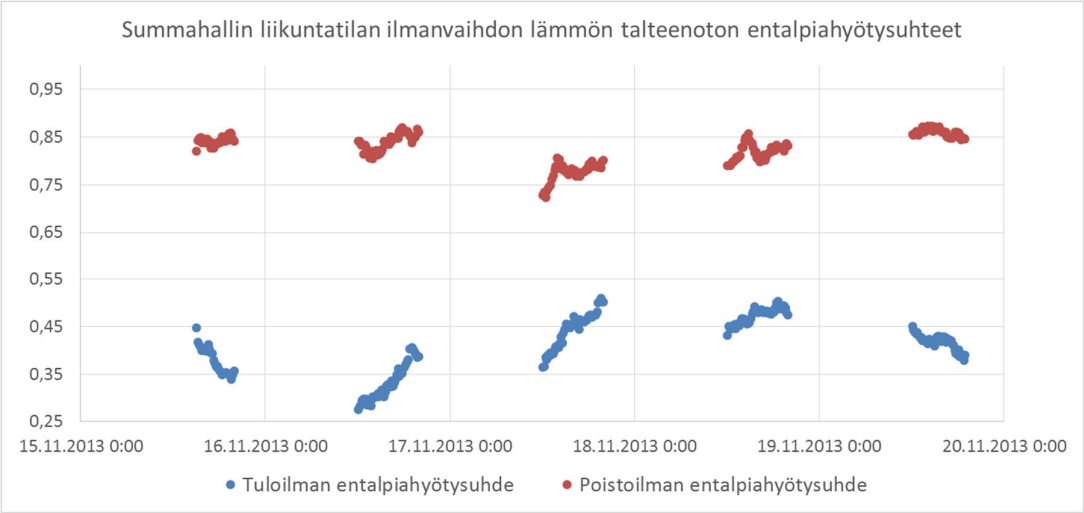
$$\eta_{entalpia,tulo} = \frac{h_{tulo} - h_{raitis}}{h_{poisto} - h_{raitis}} \quad (6)$$

$$\eta_{entalpia,poisto} = \frac{h_{poisto} - h_{jäte}}{h_{poisto} - h_{raitis}} \quad (7)$$

Lämmön talteenoton todellisten hyötysuhteiden tarkastelua varten hyötysuhteet laskettiin vain ilmanvaihdon ollessa normaalissa käyttötilassa. Koska ilmanvaihtokoneen käynnistys- ja pysäytysajankohdat vaihtelivat mittausjakson aikana, tarkasteltavaksi aikaväliksi valittiin klo 12.00 – 20.00 jokaisena päivänä. Tämä poistaa tarkastelusta käynnistyksen ja pysäytyksen sekä seisota-ajan virheelliset tulokset. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet on esitetty kuvassa 28 ja entalpiahyötysuhteet kuvassa 29.




*Kuva 28. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämpötilahyötysuhteet mittausjakson aikana aikavälillä 12.00 – 20.00 [-].*




*Kuva 29. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon lämmön talteenoton entalpiahyötysuhteet mittausjakson aikana aikavälillä 12.00 – 20.00 [-].*

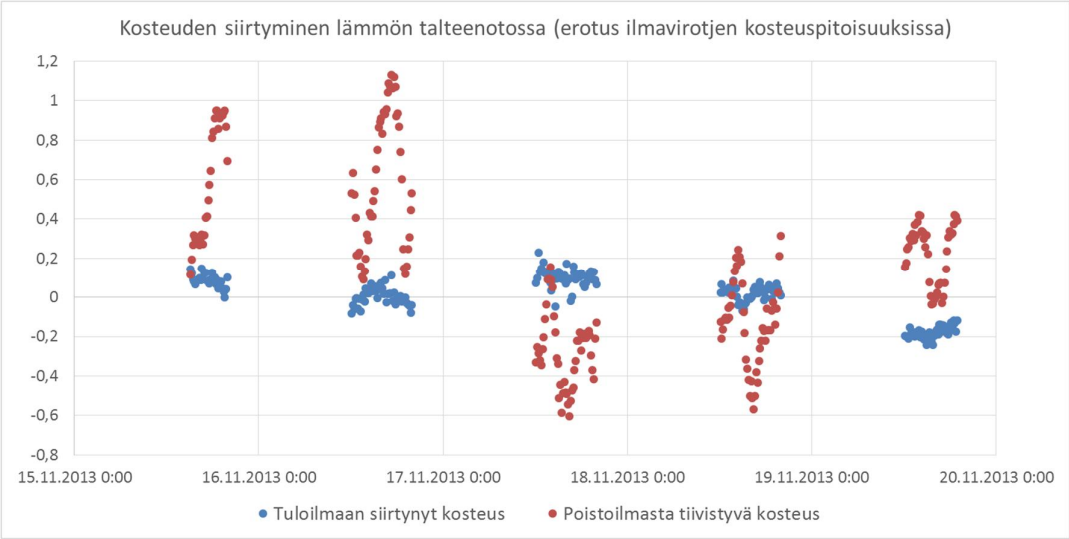
Lämmön talteenoton toiminta oli mittausjakson aikana poistoilmasta laskettujen hyötysuhteiden osalta hyvin tasaista. Tuloilman lämpötila- ja entalpiahyötysuhteet sen sijaan vaihtelivat paikoin merkittävästi. Mittausjakson aikaisten lämmön talteenoton hyötysuhteiden keskiarvot tarkastellulta aikaväliltä (12.00 – 20.00) on esitetty taulukossa 27.

*Taulukko 27. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteiden keskiarvot mittausjakson ajalta.*

| Tuloilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo | Poistoilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo | Tuloilman entalpiahyötysuhteen keskiarvo | Poistoilman entalpiahyötysuhteen keskiarvo |
|---|---|---|---|
| 45,3 % | 88,6 % | 41,1 % | 82,5 % |

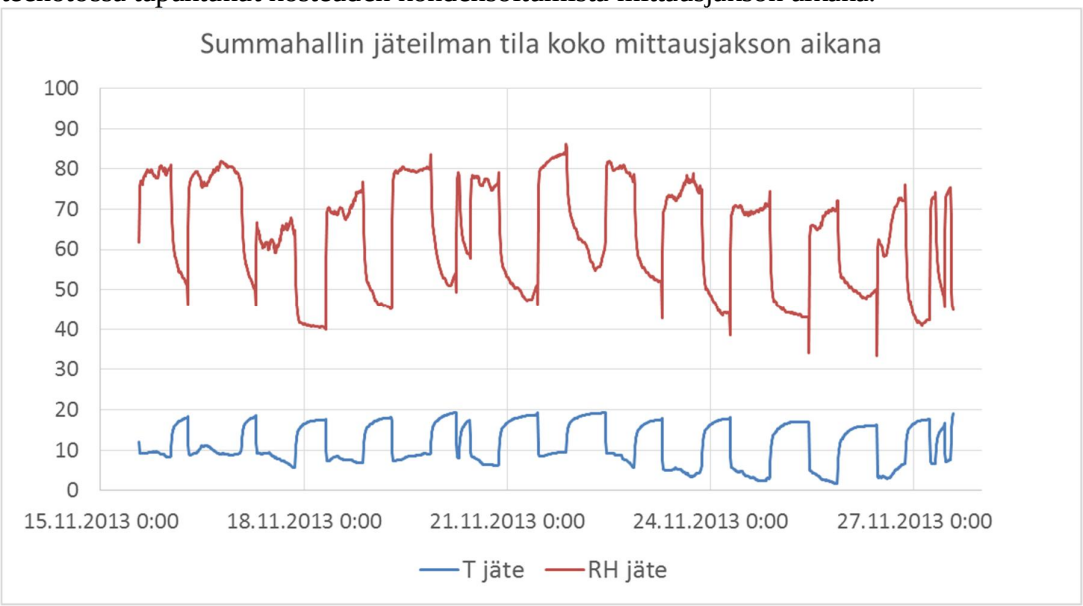
Mittaustulosten perusteella pystyttiin tarkastelemaan myös kosteuden siirtymistä regeneratiivisen lämmön talteenoton kautta poistoilmasta tuloilmaan. Kuvassa 30 on esitetty tuloilmaan siirtyvä ja poistoilmasta poistuva kosteuspitoisuus (g/m$^3$). Tuloilmaan siirtyvä kosteus on laskettu tuloilman ja raitisilman absoluuttisten kosteuspitoisuuksien erotuksena. Vastaavasti poistoilmasta poistuva kosteus on laskettu poistoilman ja jäteilman erotuksena.

Tuloilman kosteuspitoisuuden muutoksen lämmön talteenotossa olivat pieniä. Maksimissaan kosteuspitoisuuden nousu oli noin 0,23 g/m$^3$ ja minimissään -0,24 g/m$^3$. Negatiivinen arvo kuvaa tilannetta, jossa lämmön talteenotto kuivattaa tuloilmaa. Poistoilman kohdalla muutokset ilman kosteuspitoisuudessa ovat suurempia. Maksimissaan poistoilman kosteudesta 1,13 g/m$^3$ sitoutui lämmön talteenottoon. Mittausjakson aikainen pieni arvo poistoilmasta poistuneelle kosteudelle oli -0,60 g/m$^3$, joka kuvaa tilannetta, jossa jäteilmassa on enemmän kosteutta kuin poistoilmassa. On myös huomioitava, etteivät siirtyneet kosteusvirrat ole tasapainossa ja esiintyy myös tilanteita, joissa molemmat ilmavirrat joko kastuvat tai kuivuvat samanaikaisesti.




*Kuva 30. Kosteuden siirtyminen Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon lämmön talteenotossa. Tuloilmaan siirtynyt kosteus sekä poistoilmasta poistuva kosteus [g/m$^3$]*

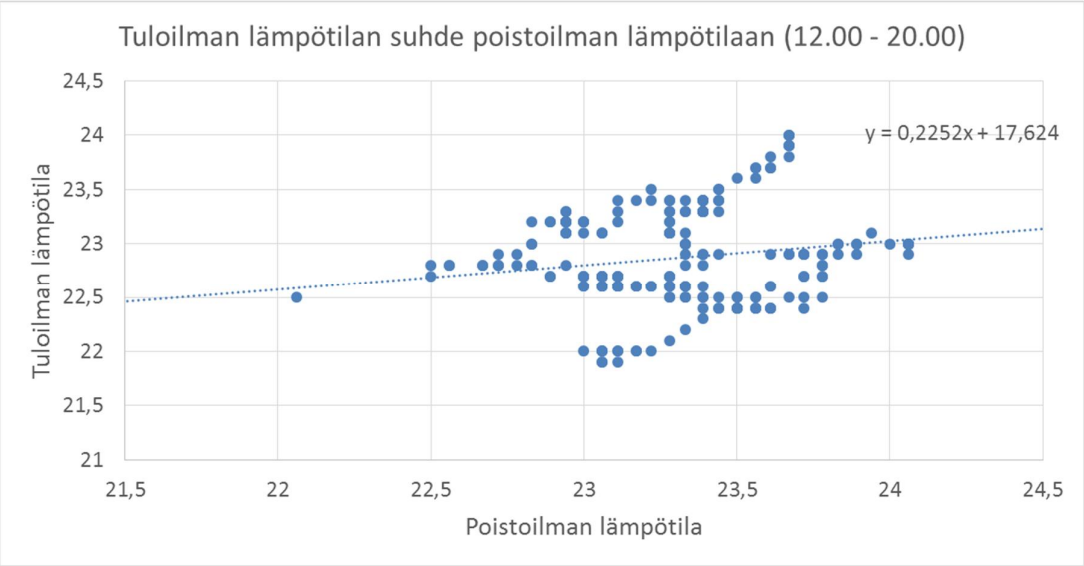
Kosteuden mahdollista kondensoitumista mittausjakson aikana tarkasteltiin jäteilman olosuhteiden kautta. Mikäli lämmön talteenotossa tapahtuu merkittävää kondensoitumista ja kosteuden siirtymistä, pitäisi jäteilman suhteellisen kosteuden olla hyvin korkea, lähellä kastepistettä. Jäteilman suhteellinen kosteus pysyi kuitenkin mittausjakson aikana pysyvästi alle 90 %, joka on esitetty kuvassa 31. Täten voidaan todeta, ettei lämmön talteenotossa tapahtunut kosteuden kondensoitumista mittausjakson aikana.




*Kuva 31. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon jäteilman lämpötila ja suhteellinen kosteus koko mittausjakson ajalta.*

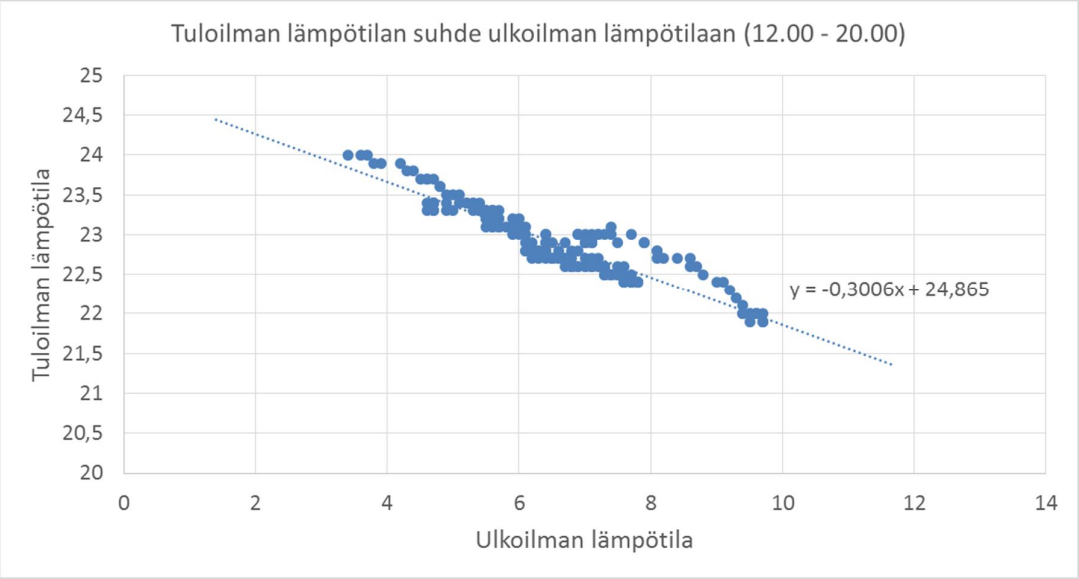
Mittaustulosten perusteella tarkasteltiin ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan hallittavuutta. Tarkastelun aikaväliksi valittiin tässäkin tapauksessa klo. 12.00 – 20.00 virhepisteiden välttämiseksi. Automaatioselosteen mukaan tuloilman lämpötilan asetusarvo määräytyy poistoilman lämpötilan mukaan. Kuvassa 32 on esitetty tulo- ja poistoilman läm-

pötilojen välinen korrelaatio mittausjakson aikana. Tuloilman lämpötila on ollut hallitsematon ja erittäin korkea, vaikka poistoilman lämpötila on ollut reilusti yli tavoitellun lämpötilan. Tämä on aiheuttanut ylilämpöongelmia liikuntahallissa jopa Marraskuussa. Kyseinen ylilämpöongelma on otettu huomioon myös hallin simulointimallinnuksessa kohdassa 5.




*Kuva 32. Summahallin tuloilman ja poistoilman lämpötilojen välinen korrelaatio mittausjakson aikana (12.00 – 20.00).*

Mittaustulosten perusteella voidaan tarkastella myös tuloilman ja raitisilman lämpötilan välistä korrelaatiota. Näiden lämpötilojen välinen korrelaatio on selkeämpi, mutta tuloilman lämpötila on kaikissa tapauksissa liian korkea ottaen huomioon hallin ylilämpöongelmat. Tulo- ja raitisilman lämpötilojen välinen korrelaatio on esitetty kuvassa 33.



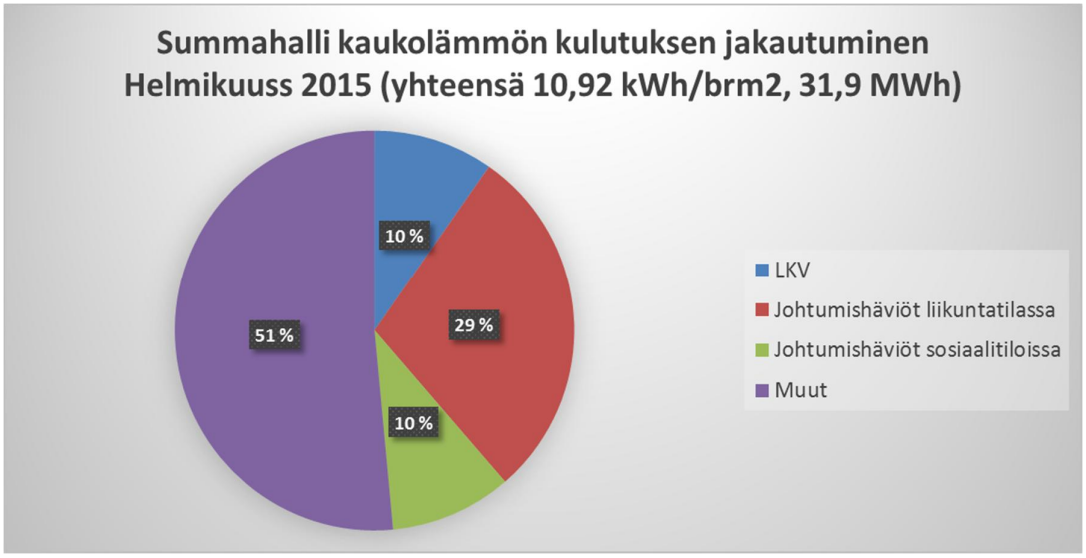

*Kuva 33. Summahallin tulo- ja raitisilman lämpötilojen välinen korrelaatio mittausjakson aikana (12.00 – 20.00).*

## 4.5 Muut kulutusta kuvaavat tarkastelut

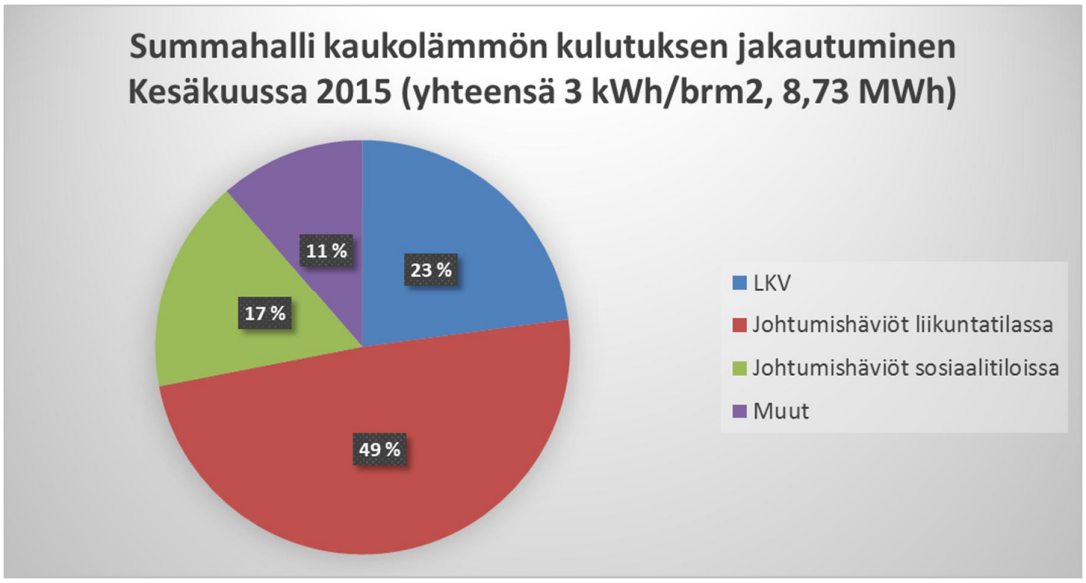
Summahallin toiminnan tarkastelussa pyrittiin myös selvittämään, mihin rakennuksessa käytetty lämpö- ja sähköenergia on kulunut. Tarkastelun kannalta olisi kuitenkin ollut keskeistä tietää ilmanvaihdon ilmavirrat, joiden rooli energiankulutuksen jakautumisessa on merkittävä. Ilmavirtojen puuttuessa kaukolämmön kulutuksesta pystyttiin erottamaan lämpimän käyttöveden ja johtumishäviöiden osuus. Sähkön kulutuksen osalta pystyttiin erottamaan vain valaistuksen käyttämä sähköteho.

Käytetyn energian jakautumisen tarkastelua valittiin kaksi esimerkkikuukautta. Toiseksi, lämmityskautta kuvaavaksi kuukaudeksi valittiin helmikuu 2015 ja toiseksi kuukaudeksi kesäkuu 2015. Helmikuussa liikuntahallin Lämpöenergian kulutus oli 31,9 MWh ja sähköenergian kulutus 25,2 MWh. Kesäkuussa kaukolämmön kulutus oli 8,7 MWh ja sähköenergian kulutus 15,7 MWh.

Kaukolämmön kulutuksen osalta oletettiin, että lämpimän käyttöveden osuus kuukauden kokonaisvedenkulutuksesta on 50 %. Hallin sisäilman lämpötilaksi arvoitiin 20 °C. Johtumishäviöiden suuruutta tarkasteltiin rakennepiirustuksista laskettujen konduktanssien avulla. Ulkoilman lämpötiloina käytettiin helmikuussa 0 °C ja kesäkuussa 13 °C (Weather underground, 2015). Rakennuksen kylmäsiltoja ei huomioitu laskennassa. Summahallin arvioitu kaukolämmön kulutuksen jakautuminen helmi- ja kesäkuussa 2015 on esitetty kuvissa 34 & 35.

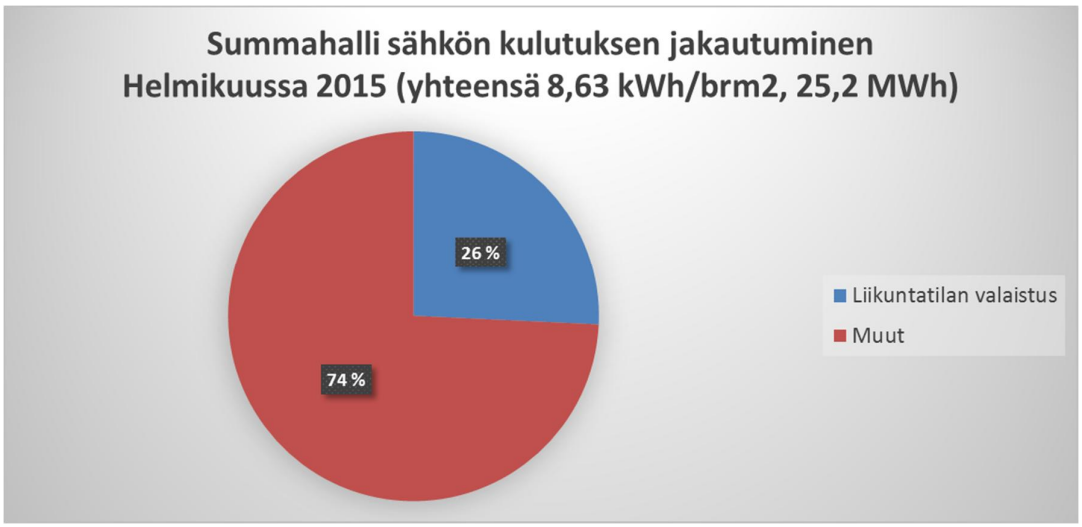



*Kuva 34. Kaukolämmön kulutuksen jakautuminen Summahallissa helmikuussa 2015.*

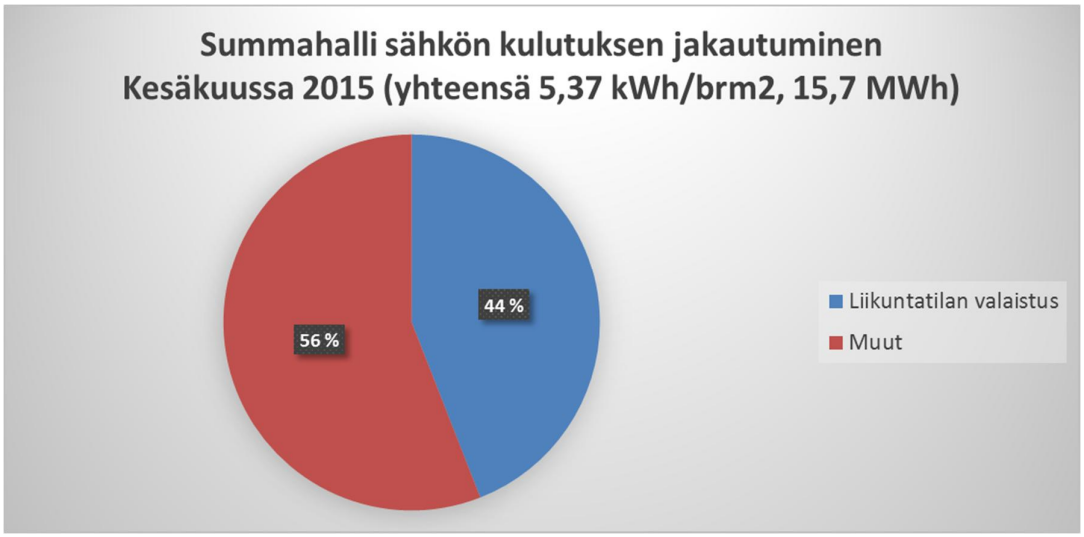



*Kuva 35. Kaukolämmön kulutuksen jakautuminen Summahallissa kesäkuussa 2015.*

Sähköenergian kulutuksen jakautumisen osalta pystyttiin erottelemaan vain liikuntatilan valaistuksen osuus. Valaistuksen sähköenergian tarve laskettiin hallihenkilökunnan antamien tietojen mukaisesti ja valaistuksen käyttöprofiilin oletettiin olevan samanlainen ympäri vuoden, sillä tilassa ei ole mahdollista käyttää luonnonvaloa. Summahallin liikuntatilan valaistuksen kuluttaman sähköenergian osuus kokonaissähköenergian kulutuksesta helmi- ja kesäkuussa 2015 on esitetty kuvissa 36 & 37. Esitettyjen arvojen pohjalta voidaan laskea karkea keskiarvo koko vuoden keskimääräiselle valaistuksen osuudelle sähköenergian kulutuksesta, joka on 35 %.



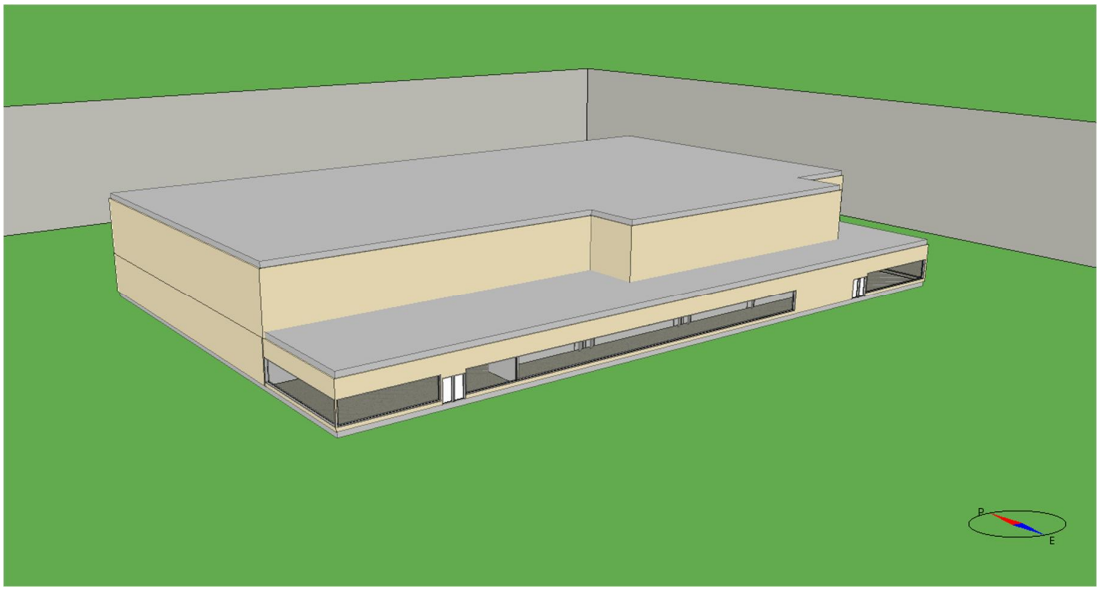

*Kuva 36. Summahallin valaistuksen osuus kokonaissähköenergian kulutuksesta helmikuussa 2015.*




*Kuva 37. Summahallin valaistuksen osuus kokonaissähköenergian kulutuksesta Kesäkuussa 2015.*

# 5 Summahallin mallinnus ja laskennallinen tarkastelu

## 5.1 Summahallin energiatekninen lähtötilanne



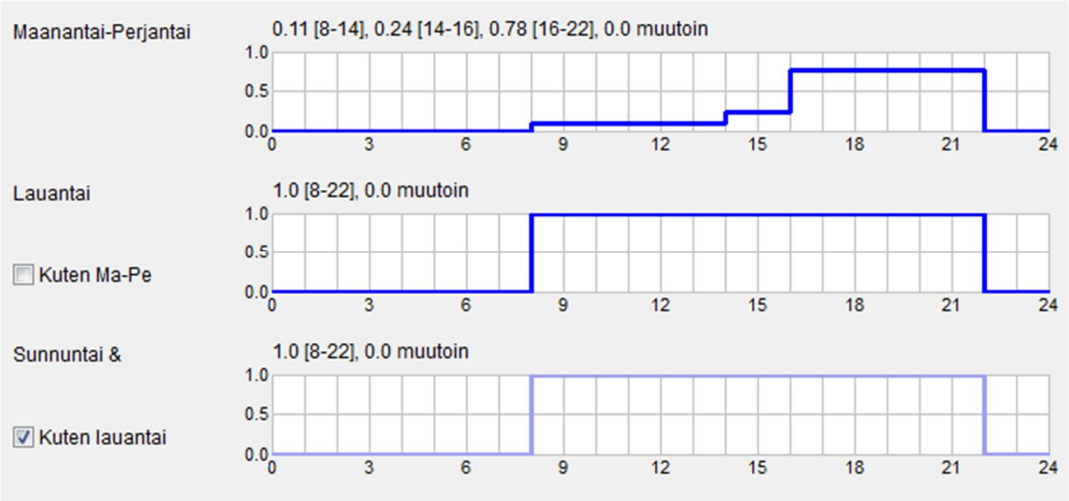
*Kuva 38. Summahallin IDA-ICE mallinnuksen 3D kuvaus.*

Tapiolan Summahallin energiateknisen käyttäytymisen laskennallista tarkastelua varten liikuntahallista muodostettiin IDA-ICE simulointimalli (Kuva 38). Mallinnuksessa käytettiin mahdollisimman tarkkoja energiateknisen laskennan lähtöarvoja perustuen teknisiin asiakirjoihin ja hallihenkilökunnalta saatuihin tietoihin. Simulointimallinnuksen laskentavyöhykkeiden keskeiset tiedot on esitetty taulukossa 28. Mallinnuksen sisäänsyöttötiedot on esitetty liitteenä.

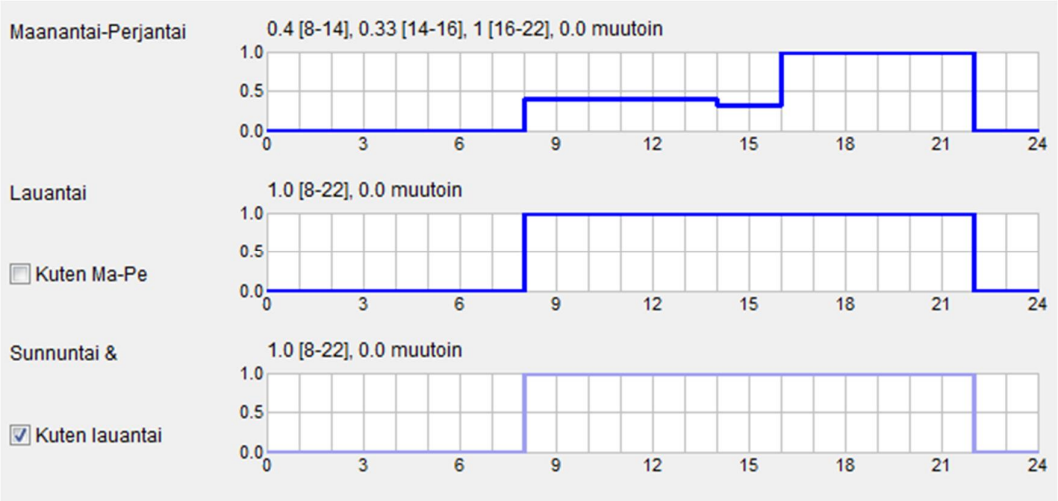
*Taulukko 28. Summahallin lähtötilanteen simulointimallin laskentavyöhykkeiden keskeiset tiedot.*

| Tilan nimi | Lattia-ala $m^2$ | Tulo- ja poistoilmavirtojen maksimiarvot $l/sm^2$ | Henkilömäärä $lkm/m^2$ | Valaistusteho $W/m^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Liikuntatila | 2175 | 2,4 | 0,1034 | 10,76 |
| Kahvio | 251,1 | 3,22 | 0,05575 | 11,57 |
| Toimistot | 142,7 | 3,22 | 0,05606 | 11,77 |
| Oheisliikuntatila | 88,49 | 3,22 | 0,05857 | 11,95 |
| Pukuhuone 1 | 86,11 | 3,22 | 0,05807 | 11,57 |
| Pukuhuone 2 | 144,1 | 3,22 | 0,05552 | 11,66 |
| Rappukäytävä | 12,83 | 3,22 | 0 | 12,0 (aina pois päältä) |
| Ilmanvaihto-/konehuone | 141 | 1,6 (vain poisto) | 0 | 12,0 (aina pois päältä) |

Läsnäolon, valaistuksen ja laitteiden käytön aikatauluna sekä käyttöasteena käytettiin lähtökohtaisesti SRMK D3 (2012) mukaisia arvoja liikuntahalleille. Rakennuksen kahvion valaistuksen ja käyttölaitteiden (11,57 $W/m^2$) oletettiin kuitenkin olevan käytössä koko hallin aukioloajan (8.00 -22.00). Hallin toimistotilojen valaistuksen ja käyttölaitteiden (5,9 $W/m^2$) käyttöprofiili muodostettiin SRMK D3 (2012) toimistorakennuksen käyttöprofiiliin pohjautuen, jolloin tilan käyttöaste oli 0,65 hallin ollessa auki. Liikuntatilan valaistuksen ja henkilömäärän profiilit muodostettiin hallihenkilökunnan haastattelujen perusteella ja ne on esitetty kuvissa 39 ja 40. Liikuntatilan käyttäjien (koripalloilijoiden) aktiviteettitasona käytettiin arvoa 4 MET ja vaatetuksena 0,36 +-0,1 CLO.




*Kuva 39. Summahallin lähtötilanteen mallinnuksessa käytetty henkilökuorma. Maksimihenkilömäärä 225.*

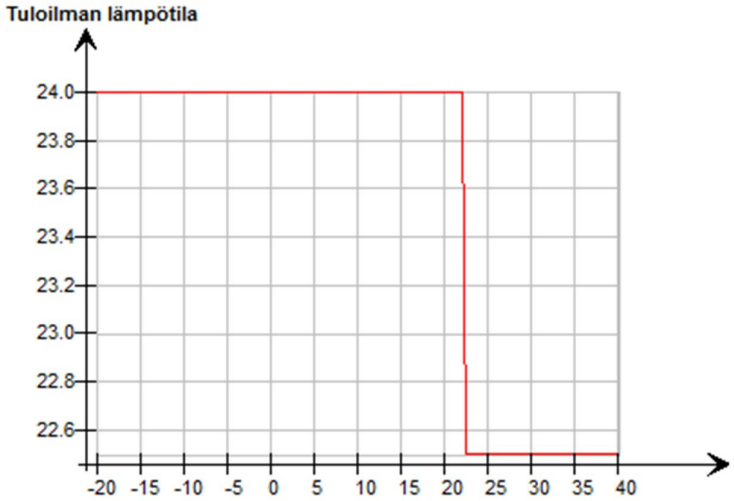



*Kuva 40. Summahallin lähtötilanteen mallinnuksessa käytetty valaistuksen käyttöprofiili. Valaistuksen kokonaisteho 23,4 kW.*

Rakennuksen simuloinnissa keskityttiin energiatehokkuuden kannalta oleellisimpien tekijöiden todenmukaiseen mallinnukseen. Kaukolämmön kulutuksen osalta keskeisin tekijä oli liikuntatilan ilmanvaihdon todenmukainen toiminta. Ilmanvaihtokone mallinnettiin kohdan 4.1. mukaisesti sisältäen aikaohjelman, yötuuletuksen sekä yöaikaisen lämmityksen toteutuksen ja ohjauksen. Ilmanvaihto mallinnettiin sekä liikuntatilan että sosiaalitilojen osalta vakioilmavirtaisena.

Yöaikaisen lämmityksen toiminta poikkesi hieman todellisesta, sillä lämmitys käynnistettiin poistoilman lämpötilan laskiessa alle asetusarvon. Todellisuudessa määräävä parametri on liikuntatilan sisäilman lämpötila. Muutoksen takia yölämmityksen käynnistyksen rajaa nostettiin 2 °C verran, jolla pyrittiin huomioimaan ilman kerrostuminen tilassa.

Perustuen kohdan 4.4. mittaustuloksiin, valittiin simulointimalliin liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvoksi huomattavasti todellisuudessa tavoiteltuja arvoja korkeammat lämpötilat. Lähtötilanteen simuloinnissa käytetyt liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilat on esitetty kuvassa 41.




*Kuva 41. Summahallin lähtötilanteen simulointimallissa käytetty tuloilman lämpötilan asetusarvo suhteessa poistoilman lämpötilaan.*

Simulointimallin vuotoilmavirraksi määriteltiin arvo 4 $m^3/(h\ m^2_{vaippa})$ paine-erolla 50 Pa, joka vastaa SRMK D5 (2012) $q_{50}$ arvoa 4 $m^3/(h\ m^2)$. Rakennuksen ympärille lisättiin sen ympäristön merkittävät varjostavat sekä tuulelta suojaavat rakennukset sekä puut.

Rakenteiden U-arvot mallinnettiin perustuen rakennepiirustuksiin. Liikuntatilan ulkoseinien U-arvona käytettiin 0,2393 $W/m^2K$ ja oheistiloissa U-arvoa 0,2335 $W/m^2K$. Liikuntatilan alapohjan U-arvona käytettiin 0,225 $W/m^2K$ ja oheistilojen kohdalla arvoa 0,2299 $W/m^2K$. Koko rakennuksen yläpohjan U-arvona käytettiin 0,1517 $W/m^2K$.

Lämpimän käyttöveden kulutuksen osuuden oletettiin olevan 50 % kiinteistön kokonaisvedenkulutuksesta. Kokonaisvedenkulutuksen osalta laskettiin toteutuneiden kulutuksien pohjalta kuukausitason keskiarvo veden kokonaiskulutukselle, josta laskettiin simuloinnissa käytetty vuositason lämpimän veden kulutus neliömetriä kohden. Simuloinnissa käytetty arvo oli 177 litraa lämmintä käyttövettä rakennuksen neliömetriä kohden.

Summahallin simuloinnin sähköenergian kulutuksen kannalta keskeisimpiä tekijöitä olivat liikuntatilan valaistuksen sekä ilmanvaihdon todenmukainen toiminta. Nämä tekijät mallinnettiin kohdan 4.1. mukaisesti perustuen niiden todelliseen käyttöön. Lisäksi hallin oheisliikuntatilassa käytettiin lämmittiminä yhteensä 6 kW sähköpattereita, jotka vastaavat lähtötilannetta.

Simuloinnissa käytettiin SRMK D3 (2012) mukaista referenssivuotta. Tuuliprofiilina käytettiin taajama-alueen tuulisuutta ja ohjelman painekertoimina osittain suojaamattoman rakennuksen automaattisesti määritettyjä kertoimia.

Valaistuksen, käyttäjälaitteiden ja ihmisten lämpökuormat pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman todenmukaisesti. Liikuntatilan osalta käytettiin hallihenkilökunnan haastatteluihin perustuvia valaistuksen ja käyttäjien profiileja. Sosiaalitilojen osalta tiloissa käytettiin lähtökohtaisesti toimistotilojen lämpökuormia. Kahvion osalta kuormat oletettiin suuremmiksi. Simuloinnissa lämpökuormien osuutena käytettiin kaikkien tekijöiden kohdalla 100 %:a.

Summahallin simuloitu ostoenergian kulutus on esitetty kuvassa 42.

| | Ostoenergiankulutus | | Tarve | Kokonaisenergia | |
|---|---|---|---|---|---|
| | kWh | kWh/m² | kW | kWh | kWh/m² |
| Valaistus, kiinteistö | 119687 | 39.4 | 29.26 | 203468 | 66.9 |
| Laitteet, kiinteistö | 20467 | 6.7 | 7.87 | 34794 | 11.4 |
| Jäähdytys | 0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| LVI sähkö | 100556 | 33.1 | 20.33 | 170945 | 56.2 |
| Yhteensä, Kiinteistösähkö | 240710 | 79.2 | | 409207 | 134.5 |
| | | | | | |
| Lämmitys, kaukolämpö | 269474 | 88.6 | 213.7 | 188632 | 62.0 |
| LKV, kaukolämpö | 36906 | 12.1 | 4.2 | 25834 | 8.5 |
| Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö | 306380 | 100.7 | | 214466 | 70.5 |
| Yhteensä | 547090 | 179.9 | | 623673 | 205.1 |

*Kuva 42. Summahallin simulointimallinnuksen lähtötilanne.*

Simuloinnin tuloksia verrattiin mitattuihin kaukolämmön ja sähkön kulutustietoihin. Koska kyseessä on hallin lähtötilanteen mallinnus, haluttiin simuloinnin tulosten vastaavan todellisia kulutustietoja. Simuloinnin tuloksia verrattiin vuosien 2012 – 2014 kulutustietoihin. Vuoden 2011 kulutustietoja ei otettu mukaan tarkasteluun, sillä kyseisen vuoden kulutustiedot olivat merkittävästi muista vuosista poikkeavia ja liikuntahallissa on tehty muutoksia koskien hallin käyttötapaa kyseisen vuoden jälkeen. Vertailuvuosien ja referenssivuoden lämmitystarveluvut on esitetty taulukossa 29. Simulointitulosten vertailua varten mitatut kaukolämmön kulutukset normeerattiin referenssivuoden tasoon, joka on esitetty taulukossa 30.

*Taulukko 29. Lämmitystarveluvut Helsingissä vuosina 2012 – 2014 sekä SRMK D3 (2012) referenssivuoden lämmitystarveluku. (Ympäristöministeriö, 2012) (Ilmatieteen laitos, 2015)*

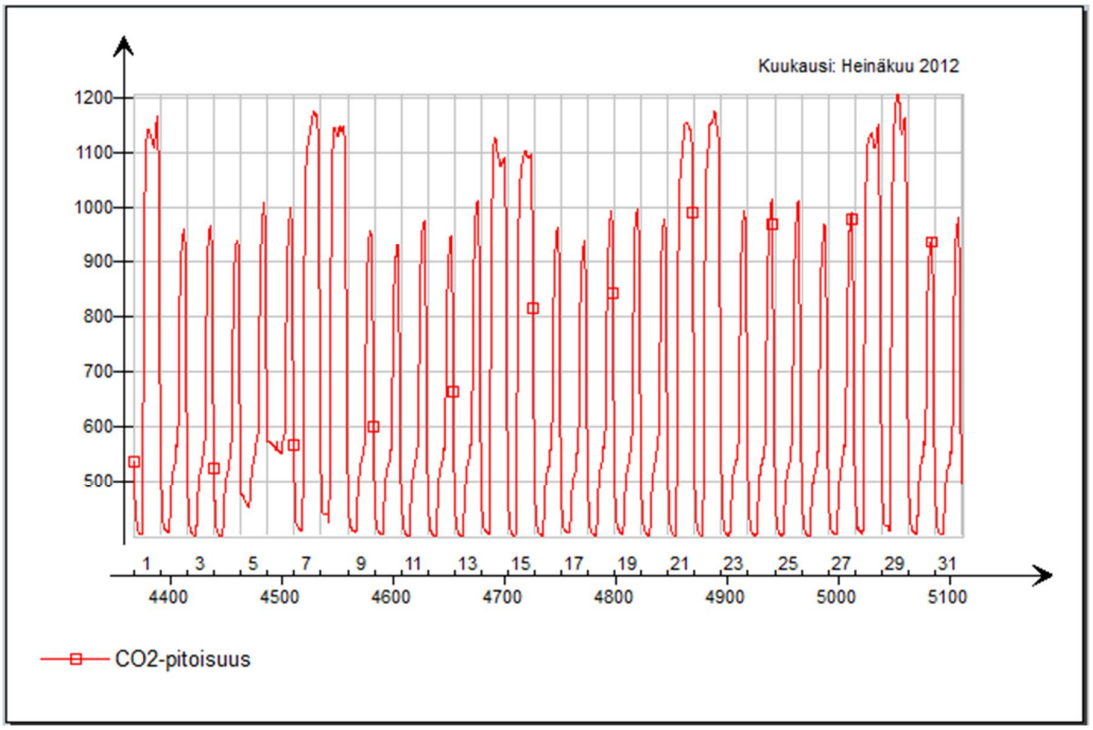
| Lämmitystarveluku Helsinki | S17 °Cvrk |
|---|---|
| 2012 | 3797 |
| 2013 | 3592 |
| 2014 | 3464 |
| D3 2012 referenssivuosi (Ympäristöministeriö, 2012) | 3952 |

*Taulukko 30. Vuosien 2012 – 2014 todelliset ja normeeratut kulutukset sekä simuloitu energian kulutus.*

| | **2012** | **2013** | **2014** | **Keskiarvo** | **Simulointi** | **Simuloinnin virhe** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kaukolämpö MWh | 299,4 | 282,8 | 274,4 | 285,5 | - | - |
| Kaukolämpö, normeerattu D3 ref. vuoteen 2012 MWh | 311,6 | 311,1 | 313,1 | 312 | 306 | -6 MWh / -2 % |
| Sähkö MWh | 226 | 232 | 256 | 238 | 241 | +3MWh / +1 % |
| Vesi $m^3$ | 874 | 1070 | 1343 | 1096 | - | - |

Simulointi antaa myös muita huomion arvoisia tuloksia energiankulutustietojen lisäksi. Todenmukaisesti mallinnetun Summahallin sisäilman tilaa ja viihtyvyyttä voidaan arvioida simulointitulosten perusteella melko luotettavasti.

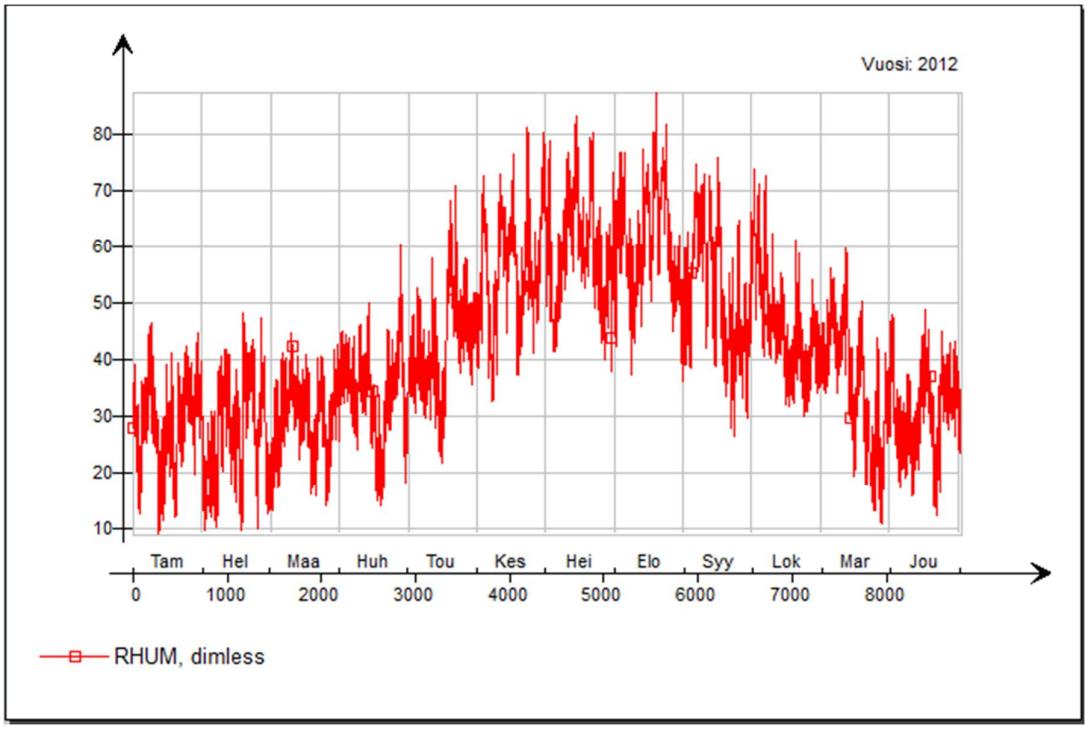
Rakennuksen viihtyvyyteen keskeisesti vaikuttava tekijä on liikuntatilan hiilidioksidipitoisuus. Summahallin ilmanvaihdon ohjausparametreihin ei ole lisätty hiilidioksidiohjausta, vaikka varaus sen käytölle on suunnitelmien mukaisesti olemassa. Simulointitulosten perusteella liikuntatilan hiilidioksidipitoisuus nousee maksimissaan 1205 ppm tasolle. Arvo vastaa SRMK D2 (2012) ohjeellista yläarvoa 1200 ppm rakennuksen käyttöaikana. Koko simulointijakson aikainen keskiarvo sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle on 647 ppm. Laskennallinen hiilidioksidipitoisuusuus liikuntatilassa referenssivuoden heinäkuussa on esitetty kuvassa 43.




*Kuva 43. Summahallin simulointimallin laskennallinen hiilidioksidipitoisuus liikuntatilassa referenssivuoden heinäkuussa.*

Tilan käyttömukavuuden kannalta keskeisessä roolissa on myös liikuntatilan suhteellinen kosteuspitoisuus. Mallinnuksen tulosten mukaisesti liikuntatilan kosteuspitoisuus nousee maksimissaan arvoon 87 %. Koko simulointijakson aikaiset liikuntatilan sisäilman suhteellisen kosteuden arvot on esitetty kuvassa 44. Liikuntahallissa ei ole kuivatusjärjestelmää, jolloin sisäilman kosteuspitoisuus on vahvasti riippuvainen ulkoilman kosteudesta. Liikuntahallin kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisin ajankohta on simulointivuoden viikko 33 (13. – 19.8.2012), jolloin ulkoilman kosteuspitoisuus on hyvin korkea. Kyseisellä viikolla esiintyvät hallissa myös korkeimmat suhteellisen kosteuden arvot.

Käyttäjäviihtyvyyden kannalta kesän ja alkusyksyn aikainen korkea suhteellisen kosteuden pitoisuus on haitallinen. Hallihenkilökunnan saaman palautteen mukaan liikuntatilan lattia muuttuu liukkaaksi, kun sisäilman suhteellinen kosteus nousee yli 60 %. Tämä nostaa myös urheilijoiden tapaturma- ja loukkaantumisriskiä.




*Kuva 44. Summahallin simulointimallin laskennallinen suhteellisen kosteuden arvo liikuntatilassa koko referenssivuoden ajalta.*

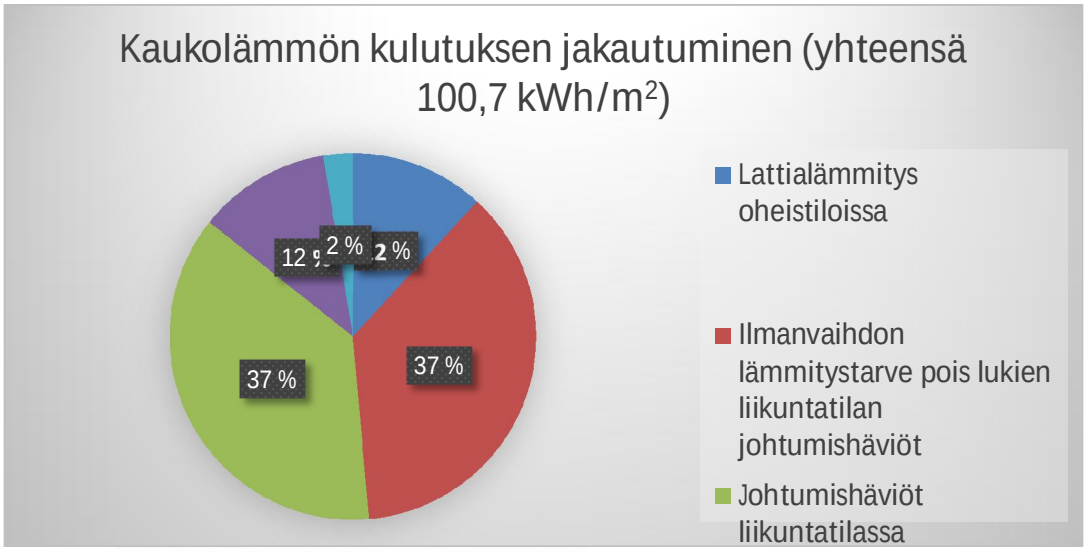
Kosteusteknisen käyttäytymisen simuloidussa tarkastelussa on otettava huomioon, että simulointimallissa ei ole mukana kosteuden sitomiskapasiteettia. Todellisuudessa tilan materiaalit sitovat ilmassa olevaa kosteutta ja muodostavat puskurin kosteuspitoisuuden muutoksille. Täten korkeat hetkelliset suhteellisen kosteuden arvot saattavat todellisuudessa olla merkittävästi pienempiä, jos kosteuskapasiteetti otetaan huomioon. Lisäksi korkeimmat suhteellisen kosteuden arvot esiintyvät loppukesän/alkusyksyn aikana. Tila on tällöin jo todennäköisesti käytössä, mutta sen kuormitus saattaa olla keskimääräistä käyttöä alhaisempi. Täten simuloitu henkilökuorma ja täten tilan kosteustuotto saattaa olla ylimitoitettu.

Simuloinnin energiankulutuksien perusteella voidaan muodostaa myös kuva siitä, mihin hallissa käytettävä energia kulutetaan. Paremman kokonaiskuvan muodostamiseksi erotellaan kaukolämmön ja sähkön kulutukset pienemmiksi osiksi. Tämä selkeyttää tarkastelua myös energiatehokkuuden parantamisen tarkastelussa. Kaukolämmön ja sähkön kulutuksen jakautuminen mallinnuksessa on esitetty taulukossa 31 sekä kuvissa 45 & 46.

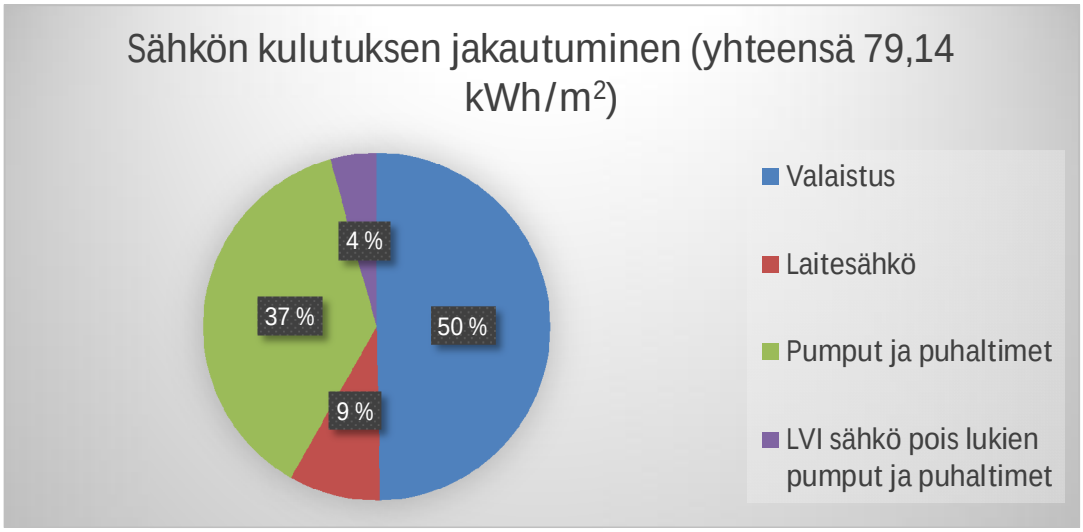
Kaukolämmön kulutuksessa ilmalämmitteisen liikuntatilan johtumishäviöt on erotettu ilmanvaihdon lämmönkulutuksesta. Näin pystytään tarkastelemaan erikseen liikuntatilan tilalämmitystarvetta ja tilan ilmanvaihdon kautta menetettyä lämpöenergiaa. Myös johtumishäviöt kompensoidaan kuitenkin ilmalämmityksellä. Ominaiskulutusten laskennassa on käytetty simulointimallin lattia-alaa, joka on 3041,3 $m^2$.

*Taulukko 31. Summahallin simulointimallin ominaiskulutusten jakautuminen eri prosesseihin.*

| Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$] | |
|---|---|
| Lämpöenergia | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 |
| LKV | 11,77 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 |
| Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä | 100,67 |
| Sähköenergia | |
| Valaistus | 39,35 |
| Laitesähkö | 6,73 |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 |
| Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä | 79,14 |
| Muut huomioitavat arvot | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 |




*Kuva 45. Summahallin simulointimallin kaukolämmön kulutuksen jakautuminen eri prosesseihin rakennuksen sisällä.*




*Kuva 46. Summahallin simulointimallin sähköenergian kulutuksen jakautuminen eri prosesseihin rakennuksen sisällä.*

Kaukolämmön kulutuksesta suuren osan muodostaa ilmanvaihdon lämmitys. Tämä prosessi pitää sisällään sekä liikuntatilan että sosiaalitilojen ilmanvaihdon lämpöenergian tarpeet ja täten myös hallitilan johtumishäviöiden osuuden. Sosiaalitilojen osuus tästä on kuitenkin pieni, sillä niissä on käytössä lattialämmitys (ja oheisliikuntatilassa sähköpatterit). Käytännössä suurin osa kaukolämmön kulutuksesta muodostuu liikuntatilan ilmanvaihdosta.

Sähkön kulutuksen osalta jakautuminen tapahtuu käytännössä LVI-sähkön ja valaistuksen kesken. LVI-sähkön keskeisimpiin tekijöihin kuuluvat ilmanvaihtokoneiden puhaltimet, joiden sähköenergian kulutus on verrannollinen ilmanvaihdon ilmamääriin. Valaistuksen osuudesta suurimman osan muodostaa voimakas liikuntatilan valaistus. Käyttölaitteiden osuus sähköenergian kulutuksesta on varsin pieni.

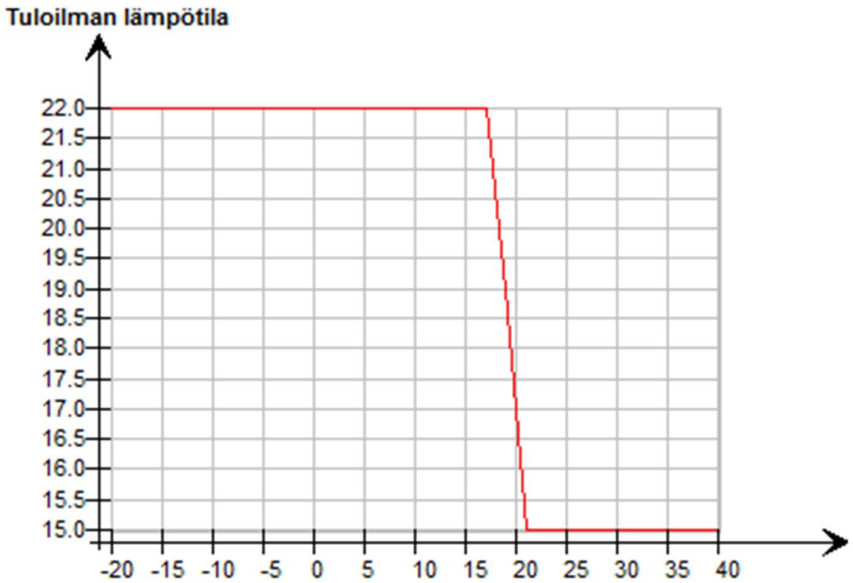
## 5.2 Summahallin simuloitu energiankulutus erilaisten tehostamistoimenpiteiden jälkeen

Summahallin IDA-ICE simuloinnilla voidaan helposti muodostaa kuva erilaisten energiatehokkuutta tai tilojen toimivuutta ja/tai viihtyvyyttä parantavien toimenpiteiden vaikutuksista rakennuksen toimintaan ja energian kulutukseen. Simuloinnin lähtöpisteenä käytetään kohdassa 5.1. esitettyä liikuntahallin lähtötilanteen mallia, johon kuvatut muutokset tehdään ja johon uusia simulointituloksia verrataan.

### 5.2.1 Liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan hallinnan vaikutus energiankulutukseen.

Kohdassa 4.4 esitettyjen mittaustulosten perusteella Summahallin liikuntatilan tuloilman lämpötilan oli hallitsematon. Automaatioselosteen mukaan tuloilman lämpötilan tulisi kuitenkin olla riippuvainen poistoilman lämpötilasta. Tässä osiossa tarkastellaan tuloilman lämpötilan hallittavuuden vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Mallinnuksessa käytetyn tuloilman lämpötilan asetusarvot on esitetty kuvassa 47. Asetusarvot on

muodostettu perustuen rakennuksen automaatiossa määriteltyihin minimi- ja maksimiarvoihin sekä tavoiteltuun lämpötilatasoon. Muita rakennuksen mallinnuksen parametreja ei muutettu. Simuloinnin tulokset on esitetty taulukossa 32.




*Kuva 47. Summahallin simulointimallin korjattu tuloilman lämpötilan suhde poistoilman lämpötilaan.*

Tuloilman lämpötilan hallinnalla on huomattava vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Hallittu tuloilman lämpötila estää ylilämpenemistä ja vähentää kaukolämmön kulutusta. Rakennuksen kaukolämmön kokonaiskulutus pieneni noin 10 % pelkästään tuloilman lämpötilan asetusarvoa muuttamalla.

Tuloilman lämpötilan muutos nostaa kuitenkin liikuntatilan korkeimman suhteellisen kosteuden arvon lähelle 100 %:a. Tällöin on vaarana liikuntatilassa tapahtuva kosteuden kondensoituminen, jota ei voida missään tapauksessa hyväksyä. Myös kriittisimmän viikon suhteellisen kosteuden keskiarvo nousee 3,5 prosenttiyksikköä. Tuloilman lämpötilan muutoksessa on otettava huomioon sen vaikutus rakennuksen kosteustekniseen toimintaan. Korkean kosteuspitoisuuden johdosta toimenpidettä ei voida suositella sellaisenaan rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi.

*Taulukko 32. Summahallin liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan hallittavuuden vaikutus rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 14,18 | +2,26<br>+19 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 28,00 | -9,00<br>-24,3 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 33,56 | -3,81<br>-10,2 % |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,83 | +0,22<br>+8,4 % |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **90,34** | **-10,33<br>-10,3 %** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,35 | 0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,78 | ~0 |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 29,41 | -0,25<br>-0,9 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **78,95** | **-0,19<br>-0,2 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 97,3 | +10,15 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 67,2 | +3,5 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1186 | -19,00 |

### 5.2.2 Liikuntatilan ilmanvaihdon puhaltimien käyttö tarpeenmukaisesti perustuen lämmitystarpeeseen

Tässä osiossa tarkastellaan tilannetta, jossa liikuntatilaa palvelevan ilmanvaihtokoneen puhaltimia käytetään tarpeenmukaisesti perustuen hallin lämmitystarpeeseen. Simulointimallia muutettiin siten, että tilan lämmitysrajaksi asetettiin 19 °C ja jäähdytysrajaksi 25 °C. Tulo- ja poistoilmavirtojen minimiarvoksi asetettiin 50 % maksimi-ilmavirrasta, eli 2,6 $m^3/s$. (Simulointiohjelman toiminnan takia asetettiin myös hiilidioksidipitoisuudelle ylä- ja alarajat, jotka olivat 4000 ppm ja 400 ppm, jotka eivät muodostu koskaan määräävi-ksi tekijöiksi mallinnuksessa.) Lämmitystarpeeseen perustuvan liikuntatilan ilmanvaihdon vaikutukset Summahallin energiankulutukseen on esitetty taulukossa 33.

Esitetyt muutokset vaikuttavat Summahallin toimintaan merkittävästi. Kaikki vaikutukset eivät kuitenkaan ole positiivisia. Hallin kaukolämmön ja sähkön kulutukset pienenevät simuloinnin tulosten perusteella merkittävästi. Tämä on haluttu lopputulos, mutta muutoksen mukanaan tuomat muut vaikutukset tekevät tästä ohjausmallista kannattamattoman.

Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo nousee merkittävästi, koska se ei ole mukana ilmanvaihdon ohjauksessa. Tämä merkitsee käyttäjäviihtyvyyden laskua, jonka vaikutus on otettava huomioon.

Toinen vielä suurempi ilmanvaihdon ohjaustavan muutoksen tuoma muutos on liikuntatilan suhteellisen kosteuden nousu haitallisen korkeaksi. Näillä ohjausparametreilla hallin sisäilman kosteus nousee niin korkeaksi, että tilassa tapahtuu kosteuden kondensoitumista. Tämä tuo mukanaan lattiapintojen liukastumisen ja todennäköisesti liikuntatila olisi käyttökelvoton korkean kosteuspitoisuuden aikana. Lisäksi hallitsematon kosteuden kondensoituminen aiheuttaa kosteus- ja homevaurioriskin, jonka korjauskustannukset nousevat nopeasti yli muodostuvan säästön. Kokonaisuutena kyseessä oleva ohjaustavan muutos ei ole suositeltava tapa rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi.

*Taulukko 33. Lämmitystarpeeseen perustuvan liikuntatilan ilmanvaihdon ohjauksen simuloitu vaikutus Summahallin energiankulutukseen.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 12,15 | +0,23<br>+1,9 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 14,78 | -22,22<br>-60 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 37,47 | +0,1<br>+0,3% |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,63 | ~0 |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **78,8** | **-21,87<br>-21,7%** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,35 | 0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,74 | ~0 |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 21,25 | -8,41<br>-28,4 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **70,74** | **-8,41<br>-10,6 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 97,1 | +9,95 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 65 | +1,3 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1874 | +669 ppm<br>+55,5 % |

### 5.2.3 Liikuntatilan ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus perustuen sisäilman hiilidioksidipitoisuuteen

Tässä osiossa tarkastellaan Summahallin liikuntatilan tarpeenmukaisen, hiilidioksidipitoisuuteen ja lämmitystarpeeseen perustuvan ilmanvaihtoratkaisun vaikutuksia hallin kokonaisenergiankulutukseen. Hallin simulointimallia muutettiin siten, että liikuntatilaa palvelevan ilmanvaihtokoneen käyttö muutettiin tarpeenmukaiseksi. Ilmanvaihdon minimi-ilmavirraksi määriteltiin puolet maksimi-ilmavirrasta, eli 2,6 $m^3/s$ sekä tulo- että poistoilmavirralle. Tilan lämmitysrajaksi asetettiin 19 °C ja jäähdytysrajaksi 25 °C. $CO_2$ – pitoisuuden alarajaksi asetettiin 400 ppm ja ylärajaksi 1200 ppm. Liikuntatilan ilmanvaihtokoneen ohjaussignaalia muutettiin siten, että kone voi käydä tarvittaessa täydellä teholla koko käyttöajan puitteissa (7.00 – 23.00). Muiden tilojen osalta mallia ei muutettu. Liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvoja ei muutettu. Muutosten vaikutus rakennuksen sähkön ja kaukolämmön kokonaiskulutuksiin on esitetty taulukossa 34.

Edellä kuvattujen muutosten vaikutus Summahallin energiankulutukseen on merkittävä. Sekä kaukolämmön että sähkön kulutukset laskivat. Varsinkin kaukolämmön kulutus pienenee huomattavasti. Kyseinen ohjaustapa ei vaikuta rakennuksen kosteustekniseen käyttäytymiseen. Tämä ohjaustavan muutos on suositeltava ja todennäköisesti toteutettavissa maltillisin investointikustannuksin.

*Taulukko 34. Hiilidioksidipitoisuuteen ja lämmitystarpeeseen perustuvan liikuntatilan ilmanvaihdon ohjauksen simuloitu vaikutus Summahallin energiankulutukseen.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 11,88 | -0,04<br>-0,6 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 24,07 | -12,93<br>-35,0 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 37,81 | +0,44<br>+1,2 % |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,60 | ~0 |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **88,13** | **-12,54<br>-12,5 %** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,38 | ~0 |
| aitesähkö | 6,73 | 6,74 | ~0 |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 26,99 | -2,67<br>-9,0 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **76,51** | **-2,63<br>-3,3 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 87,63 | ~0 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 65,7 | +2 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1211 | ~0 |

### 5.2.4 Tarpeenmukainen, hiilidioksidiohjattu ilmanvaihto koko rakennuksessa

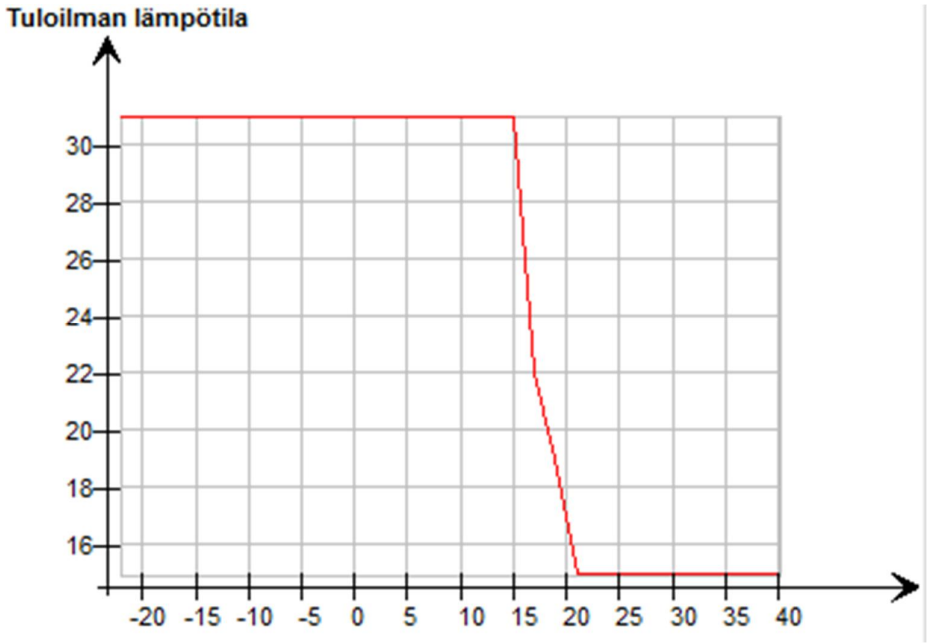
Tässä osiossa tarkastellaan tilannetta, jossa koko Summahallin ilmanvaihto on toteutettu tarpeenmukaisesti perustuen sisäilman hiilidioksidipitoisuuteen. Liikuntatilassa ilmanvaihdon ohjaus perustuu hiilidioksidipitoisuuden lisäksi lämmitystarpeeseen. Simulointimalliin asetettiin tilojen todenmukaiset lämmitys- ja jäähdytysrajat sekä hiilidioksidipitoisuuden rajat (400 ppm ja 1200 ppm). Ilmanvaihdon minimi-ilmavirraksi asetettiin puolet maksimi-ilmavirrasta. Ilmanvaihdon ohjaussignaalit eivät rajoita ilmavirtoja käyttöaikana. Liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa ei muutettu. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen energiankulutukseen on erittäin merkittävä ja se on esitetty taulukossa 35.

Koko rakennuksen ilmanvaihdon muuttaminen tarpeenmukaiseksi vähentäisi kaukolämmön ja sähkön kulutusta merkittävästi. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus vähenisi simulointimallin mukaan noin 20 %. Muutos ei vaikuta negatiivisesti hallin kosteustekniseen käyttäytymiseen. Simulointi osoittaa, että myös oheistilojen osuus energian kulutuksesta on merkittävä. Täten kokonaisvaltaisesti energiatehokkaimman ratkaisun löytäminen vaatii myös oheistilojen tarkastelua. Koko rakennuksen ilmanvaihdon muuttaminen tarpeenmukaiseksi on todennäköisesti toteutettavissa maltillisin investointikustannuksin. Täten ohjaustavan muutos on suositeltava tapa parantaa hallin energiatehokkuutta.

*Taulukko 35. Koko rakennuksen hiilidioksidipitoisuuteen ja lämmitystarpeeseen perustuvan ilmanvaihdon ohjauksen simuloitu vaikutus Summahallin energiankulutukseen.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 13,57 | +1,65<br>+13,9 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 5,73 | -31,27<br>-84,5 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 37,92 | +0,55<br>+1,5 % |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,75 | +0,14<br>+5,5 % |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **71,74** | **-28,93<br>-28,7 %** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,38 | ~0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,91 | +0,18<br>+2,7 % |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 22,17 | -7,49<br>-25,3 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **71,86** | **-7,28<br>-9,2 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 87,13 | ~0 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 65,3 | +1,6 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1211 | ~0 |

Tässä osiossa tarkasteltiin myös edellä kuvattua tilannetta yhdistettynä hallittuun tuloilman lämpötilaan. Toisessa simulointitapauksessa muutettiin edelliseen tilanteeseen nähden vain liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvokäyrää. Käytetty asetusarvokäyrä on esitetty kuvassa 48. Tämän simuloinnin tulokset on esitetty taulukossa 36.




*Kuva 48. Summahallin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ja hallitun tuloilman lämpötilan simuloinnissa käytetyn liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvokäyrä.*

Tuloilman lämpötilan muutos ei vaikuta positiivisesti rakennuksen toimintaan. Sekä kaukolämmön että sähkön kulutuksessa säästettävä energian määrä pienenee. Odotusten vastaisesti tuloilman lämpötilan parempi hallinta nostaa tässä tapauksessa etenkin puhallinsähkön määrää. Vakioilmavirtaisessa järjestelmässä, kohdassa 5.2.1 näin ei kuitenkaan käynyt. Puhallinsähkön tarpeen nousu saattaa johtua lämmitystilanteen suuremmasta ilmamäärän tarpeesta, kun tuloilman lämpötila on alhaisempi.

Tuloilman lämpötilan muutos heikentää myös liikuntatilan kosteusteknistä toimintaa, koska kyseessä olevassa tilanteessa liikuntatilan korkein suhteellisen kosteuden arvo nousee lähelle 100 % ja tilassa tapahtuu kondensoitumista. Tuloilman lämpötilan muutos ei täten ole sellaisenaan järkevä ratkaisu tilan toiminnan parantamiseksi.

*Taulukko 36. Summahallin simulointimallin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ja hallitun tuloilman lämpötilan vaikutukset rakennuksen toimintaan.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simu-lointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 15,65 | +3,73<br>+31,3 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 7,50 | -29,50<br>-79,7 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 34,25 | -3,12<br>-8,4 % |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,96 | +0,35<br>+13,2 % |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **72,13** | **-28,54<br>-28,4 %** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,37 | ~0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,98 | +0,25<br>+3,7 % |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 24,08 | -5,58<br>-18,8 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **73,84** | **-5,30<br>-6,7 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 97,8 | +10,65 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 71,1 | +7,4 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1200 | ~0 |

### 5.2.5 Liikuntatilan lämmityksen muuttaminen patterilämmitteiseksi sekä tarpeenmukainen ilmanvaihto kaikissa tiloissa

Tässä osiossa tarkastellaan tilannetta, jossa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lisäksi muutetaan liikuntatilan ilmalämmitys matalalämpöpatterilämmitykseksi. Samalla muutetaan myös oheisliikuntatila patterilämmitteiseksi. Koska rakennuksessa on jo matalalämpöinen lattialämmitys, on luontevaa käyttää matalaenergiapattereita, joiden lämmityspiirissä voidaan käyttää saman lämpöistä nestettä kuin lattialämmityksessä.

Tämän simuloinnin lähtötilanne oli edellisen kohdan (5.2.4) malli, jossa koko rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu tarpeenmukaisesti. Simulointimallia muutettiin siten, että liikuntatilaan lisättiin 100kW ja oheisliikuntatilaan 30 kW ideaalilämmitin, jotka kuvaavat lämmityspattereita. Ilmanvaihdon ohjaus tapahtuu pelkästään hiilidioksidipitoisuuteen perustuen.

Liikuntatilan ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvot muutettiin järkeviksi, jotta järjestelmä toimisi halutulla tavalla. Tuloilman muutettu asetusarvokäyrä on sama kuin kohdassa 5.2.1. Tällä muutoksella varmistettiin, että tilan lämmitys tapahtuu lämmityspattereilla, eikä tuloilmalla. Saatuja simulointituloksia verrataan hallin lähtötilanteeseen. Simuloinnin tulokset on esitetty taulukossa 37.

Liikuntahallin liikuntatilan ja oheisliikuntatilan lämmitystavan muutos yhdistettynä tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon ei paranna rakennuksen energiateknistä toimintaa. Saavutettava säästö on sähköenergian osalta pienempi, kuin pelkän tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tapauksessa. Lämpöenergian kulutuksen taso on molemmissa tapauksissa sama.

Liikuntahallin lämmitysmuodon muutoksen keskeinen tavoite oli pienentää tarvittavan ilmanvaihdon määrää ja täten puhallinsähkön osuutta energiakulutuksesta. Simuloidussa tilanteessa puhallinsähkön määrä ei kuitenkaan laskenut odotetusti, vaan saavutettu säästö oli lähtötilanteeseen verrattuna pienempi kuin ilmalämmityksen ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tapauksessa. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tapauksessa myös tuloilman lämpötilan asetusarvolla on rooli puhallinsähkön käytössä, joka havaittiin myös edellisessä kohdassa 5.2.4. Optimoidulla tuloilman lämpötilalla puhallinsähkön määrä saattaisi olla merkittävästi esitettyä pienempi.

Myös liikuntatilan suhteellisen kosteuden maksimiarvo nousee vaarallisen korkeaksi tässä tarkastelussa. Simulointimalli ei indikoinut kosteuden kondensoitumista, mutta sen riski on otettava huomioon. Suhteellisen kosteuden arvo on niin korkea, että sitä ei voida hyväksyä tavanomaisissa tilanteissa.

Kokonaisuutena tämä toimenpide on todennäköisesti kannattamaton. Lämmitystavan muutos vaatii todennäköisesti merkittäviä investointeja sekä liikuntahallin sulkemista määräajaksi. Täten tämä energiatehokkuuden parantamisen konsepti ei tässä muodossa sovellu Summahalliin.

Tässä osiossa on otettava huomioon, että rakennuksen toimintaa ei ole mallinnuksessa millään tavalla optimoitu. Mikäli toimintaa optimoitaisiin paremmin eri parametrien osalta, voisi liikuntahallin energia- ja kosteustekninen toiminta olla esitetystä mallista merkittävästi poikkeava, jolloin ratkaisu voisi olla suositeltava.

*Taulukko 37. Patterilämmitteisen ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetun Summahallin simuloitu energian kulutus.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m²]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Tilalämmitys | 11,92* | 26,88* | +14,96<br>+125,5 % |
| Lämmitys IV koneella | 37* | 28,99* | -8,01<br>-21,7 % |
| (Johtumishäviöt liikuntatilassa)* | (37,37)* | (33,56)* | (-3,81)<br>(-10,2 %) |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 4,14 | +1,53<br>+58,5 % |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | 71,78 | -28,89<br>-28,7 % |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,35 | 0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,39 | -0,34<br>-5,1 % |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 24,91 | -4,75<br>-16 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | 74,05 | -5,09<br>-6,43 % |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 94,52 | +7,37 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 67,1 | +3,4 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1200 | ~0 |

* mallinnuksen lähtötilanteessa hallin liikuntatila on ilmalämmitteinen, jolloin myös liikuntatilan lämmityksen osuus on mukana ilmanvaihdon lämmönkulutuksessa. Patterilämmitteisessä tilanteessa liikuntatilan lämmitys sisältyy osittain tilalämmitykseen ja osittain ilmanvaihtoon, joka ei ole optimaalinen tilanne.

### 5.2.6 Rakenteiden lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen

Tässä osiossa tarkastellaan rakenteiden johtumishäviöiden osuutta rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta. Summahallin simulointimallia muutettiin siten, että rakenteiden sekä ovien ja ikkunoiden U-arvot määriteltiin vastaamaan SRMK D3 (2012) mukaisia vertailuarvoja. U-arvojen korotuksen tehtiin suurentamalla rakenteissa olevien eristeiden paksuutta riittävästi. Rakenteiden paremman eristävyyden vaikutukset Summahallin kokonaisenergiankulutukseen on esitetty taulukossa 38.

Odotetusti rakenteiden parempi eristävyys pienentää rakennuksen kaukolämmön tarvetta. Sähköenergian kulutukseen rakenteiden johtumishäviöt eivät käytännössä vaikuta, sillä rakennuksen ilmanvaihto on vakioilmavirtainen. Rakenteiden lisäeristämisen kohdalla on kuitenkin huomioitava, että näiden toimenpiteiden laajuus ja investointikustannukset ovat usein korkeat eikä niitä voida toteuttaa yhtä helposti kuin esimerkiksi ilmanvaihdon toimintatavan päivitystä. Summahallin kohdalla rakenteiden lisäeritys ei todennäköisesti ole investointien takaisinmaksun kannalta tässä muodossa kannattava.

*Taulukko 38. Rakenteiden U-arvojen parannuksen vaikutus Summahallin energiankulutukseen.*

| **Ominaiskulutuksen muodostuminen Summahallin simulointimallissa [kWh/m$^2$]** | | | |
|---|---|---|---|
| Alkuperäinen simulointimalli | | Uusi simulointitulos | Muutos |
| **Lämpöenergia** | | | |
| Lattialämmitys oheistiloissa | 11,92 | 6,64 | -5,28<br>-44,3 % |
| Ilmanvaihdon lämmitystarve (ei sisällä liikuntatilan johtumishäviöitä) | 37 | 39,61 | +2,61<br>+7,1 % |
| Johtumishäviöt liikuntatilassa | 37,37 | 27,80 | -9,57<br>-25,6 % |
| LKV | 11,77 | 11,77 | 0 |
| Jakeluhäviöt | 2,61 | 2,11 | -0,50<br>-19,2 % |
| **Lämpöenergian ominaiskulutus yhteensä** | **100,67** | **87,93** | **-12,74<br>-12,7 %** |
| **Sähköenergia** | | | |
| Valaistus | 39,35 | 39,35 | 0 |
| Laitesähkö | 6,73 | 6,43 | -0,30<br>-4,5 % |
| Puhaltimet ja pumput | 29,66 | 29,78 | +0,12<br>+0,4 % |
| LVI sähkö pois lukien puhaltimet ja pumput | 3,40 | 3,40 | 0 |
| **Sähköenergian ominaiskulutus yhteensä** | **79,14** | **78,96** | **-0,18<br>-0,2 %** |
| Muut huomioitavat muutokset | | | |
| Liikuntatilan korkein hetkellinen kosteuspitoisuus [%] | 87,15 | 85,81 | -1,34 |
| Simulointiviikon 33 liikuntatilan suhteellisen kosteuden keskiarvo [%] | 63,7 | 63,1 | -0,6 |
| $CO_2$ pitoisuuden maksimi [ppm] | 1205 | 1206 | ~0 |

## 5.3 Mallinnuksen johtopäätökset

Summahallista tehtyjen simulointimallien perusteella voidaan todeta, ettei halli toimi energiatehokkuuden kannalta optimaalisesti. Suurin energiansäästön potentiaali kohdistuu ilmanvaihdon toiminnan tehostamiseen.

Simulointitulosten perusteella suurin säästö kokonaisenergiankulutukseen saadaan muuttamalla koko rakennuksen ilmanvaihto tarpeenmukaiseksi ja hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjautuvaksi. Tämä muutos vähentäisi kokonaisenergiankulutusta noin 20 %. Pelkästään liikuntatilan ilmanvaihdon muuttaminen tarpeenmukaiseksi säästäisi noin 8,4 % kokonaisenergiankulutuksesta. Todennäköisesti on järkevää uudistaa samalla koko rakennuksen ilmanvaihto. Toimenpiteiden investointikustannukset eivät todennäköisesti ole kovin korkeat, jolloin myös niiden takaisinmaksuaika on lyhyt. Näitä toimenpiteitä suositellaan hallin energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon simuloinneissa ilmavirtojen minimiarvoiksi asetettiin 50 % maksimi-ilmavirrasta. Käytetty arvo varmistaa, että tilaan tuodaan varmasti riittävä määrä raitista ilmaa kaikissa käyttötilanteissa. Optimoiduissa ratkaisuissa minimi-ilmavirtaa voidaan todennäköisesti laskea tästä arvosta, joka pienentää entisestään kulutetun energian määrää.

Simuloinnissa tarkasteltiin myös liikuntatilan tuloilman lämpötilan vaikutusta rakennuksen toimintaan. Kohdassa 4.4. esitettyjen mittaustulosten perusteella tuloilman lämpötilaa ei hallita. Tuloilman lämpötilan muuttaminen hallituksi aiheutti kuitenkin rakennuksen kosteusteknisen toiminnan heikentymistä. Tarpeettoman korkea tuloilman lämpötila nostaa kaukolämmön kulutusta, mutta toimii samalla kosteusteknistä toimivuutta parantavana tekijänä. Tuloilman lämpötilan muuttaminen järkeväksi ja hallituksi aiheutti kaikissa simulointitilanteissa liikuntatilan suhteellisen kosteuden maksimiarvon nousun haitalliselle alueelle ja joissakin tapauksissa jopa kosteuden kondensoitumista. Täten tuloilman lämpötilalla on selkeä yhteys rakennuksen kosteustekniseen toimintaan, eikä sen arvoa tule muuttaa ilman kosteusteknistä tarkastelua.

Lisäksi ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan asetusarvolla oli selkeä vaikutus rakennuksen puhallinsähkön käyttöön, mutta vain tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tapauksessa. Vakioilmavirtaisessa järjestelmässä vaikutus oli käytännössä olematon. Tuloilman lämpötilan muutos hallituksi nosti puhallinsähkön käyttöä odotusten vastaisesti. Tuloilman lämpötilan vaikutusta rakennuksen energiatekniseen toimintaan voitaisiin tarkastella optimoinnin kautta, mutta sitä ei tehty tässä työssä.

Hallin liikunta- ja oheisliikuntatilan muuttaminen patterilämmitteisiksi ei parantanut hallin toimintaa. Tarkasteluun vaikutti myös edellä kuvattu tuloilman lämpötilan hallinnan ongelma, joka korostuu patterilämmitteisessä tilassa. Hallitsemattoman korkea tuloilman lämpötila johtaisi tilanteeseen, jossa tilan lämmitys tapahtuisi enimmäkseen ilmanvaihdon kautta, jolloin patterilämmitystä ei voida käyttää tehokkaasti. Tuloilman lämpötilan madaltaminen aiheutti puhaltimien sähkönkulutuksen kasvua, joka teki ratkaisusta kokonaisenergiankulutuksen kannalta kannattamattoman. Tuloilman lämpötilan optimoinnilla ratkaisu saattaisi kuitenkin olla käyttökelpoinen.

Simulointien perusteella liikuntatilan ilmanvaihdon puhaltimien ohjauksen muuttaminen lämpötilariippuvaiseksi ei ole suositeltavaa. Kyseinen muutos pienensi kokonaisenergiankulutusta, mutta aiheutti tilaan kosteus- ja sisäilmaongelmia. Tästä syystä tätä muutosta ei suositella.

Rakenteiden lisäeristys SRMK D3 (2012) vertailuarvojen tasolle pienensi kohteen simuloitua kaukolämmön kulutusta noin 12,7 %. Rakenteiden lisäeristämisen investointikustannukset ovat kuitenkin todennäköisesti varsin suuria, joten toimenpidettä ei suositella ainakaan ennen ilmanvaihdon toiminnan tehostamista.

Summahallin energiatehokkuuden parantamisen lähtökohta on ilmanvaihdon tarpeenmukainen toiminta, joka tulisi toteuttaa koko rakennuksessa. Ilmanvaihdon toimintaa muutettaessa ja tarkistettaessa on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota tuloilman korkean lämpötilan tuomaan ”suojaavaan” vaikutukseen rakennuksen kosteustekniseen toimintaan. Korjaustoimenpiteissä on huomioitava aina kosteustekninen toiminta, jolloin vältytään tahattomilta kosteus- ja homevaurioilta, joiden kustannukset ovat todennäköisesti merkittävästi saavutettuja säästöjä suuremmat.

# 6 Muiden tässä tutkimuksessa mukana olleiden liikuntahallien tietoja

## *6.1 Agricola-halli*

*Kuva 49. Agricola-halli Loviisassa.*

Loviisassa sijaitsevassa Agricola-hallissa (Kuva 49) tehtiin energiakatselmus vuonna 2012. Katselmuksen tiedoista kerättiin tähän työhön keskeisimmät rakennuksen energiatehokkuutta kuvaavat tekijät, jotka on esitetty taulukossa 39.

*Taulukko 39. Agricola-hallin keskeiset tiedot.*

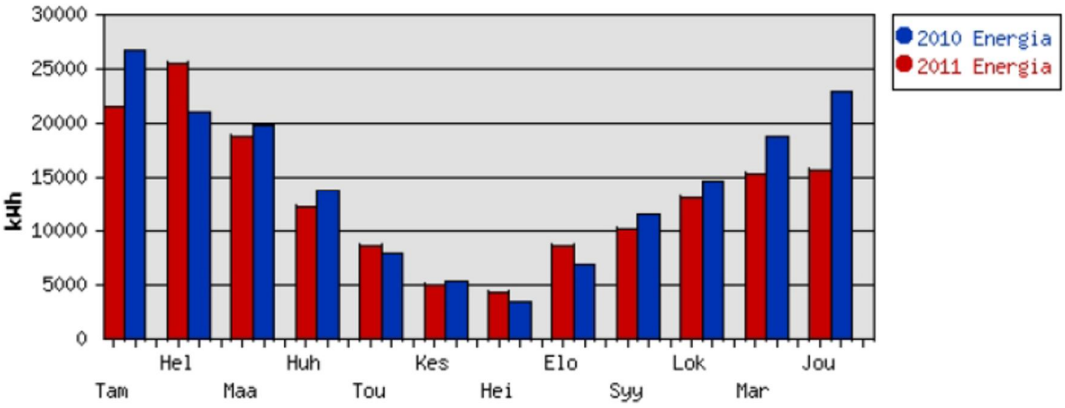
| | |
|---|---|
| Sijainti | Loviisa |
| Rakennusvuosi | 2004 |
| Bruttoala brm$^2$ | 1924 |
| Liikuntatilan pinta-ala m$^2$ | 1459 |
| Tilavuus m$^3$ | 14710 |
| Liikuntatilan korkeus m | 7-8 |
| Liikuntatilan vapaa korkeus | min 7m (pääliikuntatilassa) |
| Lämmöntuottomuoto | Maalämpö + sähkövastus 88 kW |
| Lämmönjako | Lattialämmitys |
| Aukioloaika/Käyttöprofiili | Vaihteleva: arkisin 16 - 22 vahtimestari paikalla muina aikoina ja viikonloppuisin vuoroja ja turnauksia |
| Ilmanvaihto | Alkuperäinen vuodelta 2004<br>Tulo 3,647 m$^3$/s (täysteho)*<br>Poisto 3,975 m$^3$/s (täysteho)*<br>Ilmanvaihdon käyttö: Manuaalinen, aina puoliteholla, tarpeen mukaan täysteho<br>LTO hyötysuhde 75 % (hetkellinen e.katselmuksen aikana)<br>Tuloilman lämpötila 16 - 17 °C<br>Arvioitu energiankulutus 30 MWh/a (19 %)<br>Jäähdytyspatteri, porakaivovedellä |
| Valaistus | Hallitilassa: 80 kpl 400 W polttimoita (32 kW). Valaistuksen kokonaisteho noin 35 kW. Ohjaus käsikytkimin. Puoli- ja täystehovaihtoehdot.<br>Muut tilat: loisteputkivalaisimet käsikytkimillä<br>Ulko- ja aluevalaistus: Aluevalaistus hämäräkytkimellä. Hallin ympäristössä myös hiihtolatu, jonka valaistusta ohjataan hallilta kytkimestä. Latuvalot sammuvat automaattisesti klo 22. Ladulla noin 40 valaisinta 125 W/kpl. |

* Arvot teknisistä piirustuksista. Energiakatselmuksessa (täysteho)ilmamääriksi oli ilmoitettu +1,8/-2,0 m$^3$/s, joka vastaa todennäköisesti puolitettua ilmavirtaa.

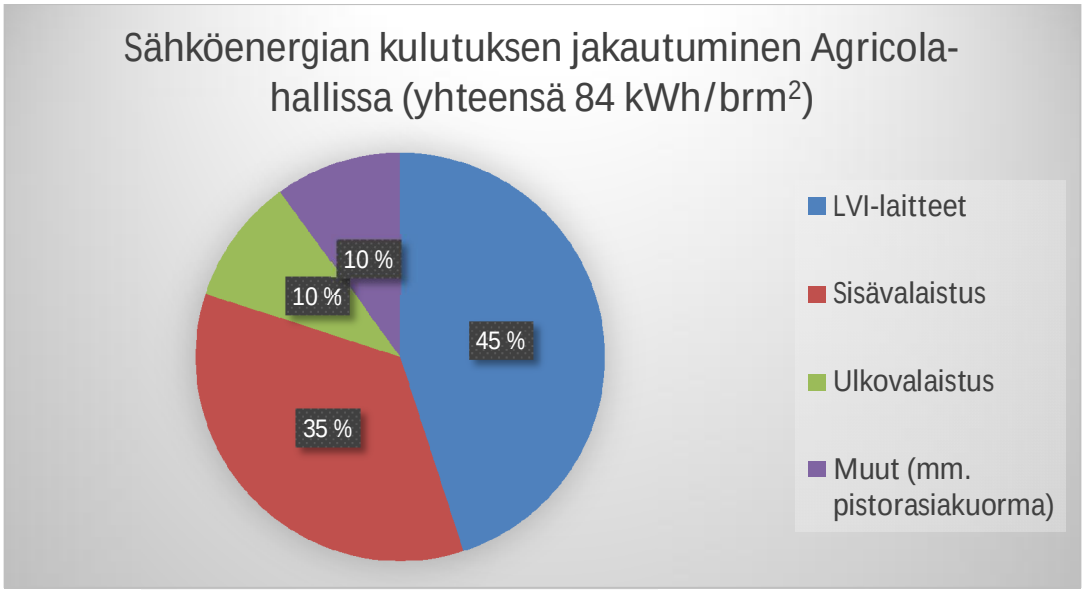
Energiakatselmuksessa on esitetty myös rakennuksen sähköenergian ja veden kulutustietoja vuosilta 2009 – 2011, jotka on esitetty taulukossa 40. Rakennuksessa ei ole sähkön kulutuksen alamittausta, joten lämmitykseen kuluvan sähkön määrää ei tunneta. Energiakatselmuksessa oli esitetty myös vuosien 2010 ja 2011 kuukausitason sähköenergian kulutuksen jakautumine joka on esitetty kuvassa 50. Lisäksi raportissa oli arvoitu myös sähköenergian kulutuksen jakautumista eri prosesseihin, joka on esitetty kuvassa 51.

*Taulukko 40. Agricola-hallin kulutustietoja vuosilta 2009 – 2011.*

| | 2009 | 2010 | 2011 | Keskiarvo |
|---|---|---|---|---|
| Sähkön kokonaiskulutus MWh | 155,1 | 171,8 | 157,8 | 161,6 |
| Sähkön ominaiskulutus kWh/brm2 | 80,6 | 89,3 | 82,0 | 84,0 |
| Sähkön kulutus tilavuutta kohti kWh/m3 | 10,5 | 11,7 | 10,7 | 11,0 |
| Veden kokonaiskulutus m3 | - | 300,0 | 326,0 | 313,0 |
| Veden ominaiskulutus m3/brm2 | - | 0,156 | 0,169 | 0,163 |
| Veden kulutus tilavuutta kohti m3/m3 | - | 0,020 | 0,022 | 0,021 |




*Kuva 50. Agricola-hallin sähköenergian kulutuksen jakautuminen kuukausitasolla vuosina 2010 ja 2011.*




*Kuva 51. Agricola-hallin sähköenergian kulutuksen jakautuminen.*

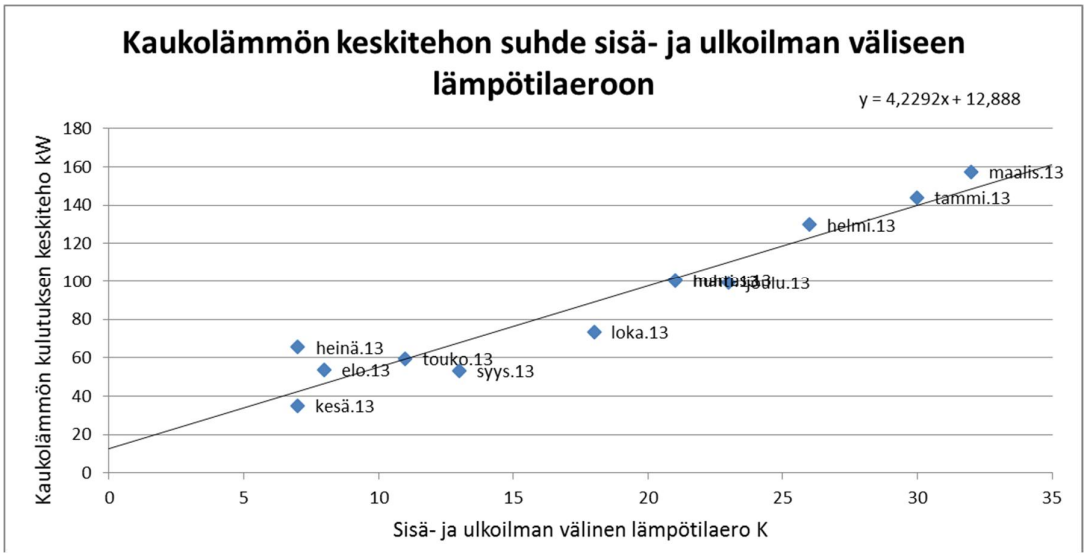
## 6.2 Lammin liikuntakeskus

Lammin liikuntakeskus Hämeenlinnassa pitää sisällään liikuntahallin, uimahallin ja kuntosalin. Tähän työhön liikuntakeskuksesta saatiin tiedot vuoden 2013 kuukausittaisista kaukolämmön, sähkön sekä veden kulutuksista. Lisäksi käytettävissä olivat rakennuspiirustukset. Koska kiinteistössä on myös uimahalli, kohde ei edusta hyvin liikuntahalleja. Uimahallien energian ja veden ominaiskulutus on yleensä merkittävästi liikuntahalleja korkeampi. Kiinteistössä ei ole energian ja veden kulutuksen alamittauksia, joten liikuntahallin osuutta kulutuksesta ei voida erotella. Keskeiset lammin liikuntakeskuksen energiatehokkuutta kuvaavat tiedot on esitetty taulukossa 41.

*Taulukko 41. Lammin liikuntakeskuksen energiatehokkuuden perustiedot.*

| Sijainti | Lammi, Hämeenlinna |
|---|---|
| Bruttoala $brm^2$ | 3430 |
| Tilavuus $m^3$ | 22266 |
| Kaukolämmön kulutus vuonna 2013 MWh | 781,6 |
| Kaukolämmön kulutus per bruttoala $kWh/brm^2,a$ | 227,9 |
| Kaukolämmön kulutus per tilavuus $kWh/m^3a$ | 35,1 |
| Sähkön kulutus vuonna 2013 MWh | 465,7 |
| Sähkön kulutus per bruttoala $kWh/brm^2,a$ | 135,8 |
| Sähkön kulutus per tilavuus $kWh/m^3,a$ | 20,9 |
| Veden kulutus vuonna 2013 $m^3,a$ | 4120 |
| Veden kulutus per bruttoala $l/brm^2,a$ | 1201 |
| Veden kulutus per tilavuus $l/m^3,a$ | 185 |

Kuukausittaisten kaukolämmön kulutustietojen ja ulkoilman lämpötilojen avulla pystyttiin muodostamaan myös kohdan 4.3. mukainen kaukolämmön kulutuksen keskitehon ja sisä-ja ulkoilman lämpötilaeron välinen korrelaatio. Sisäilman lämpötilana käytettiin tässä tapauksessa keskimääräistä 23 °C, sillä liikuntahallin ja uimahallin sisäilman lämpötiloissa on suuri ero. Korrelaatio on esitetty kuvassa 52. Kuvasta voidaan päätellä, että kulutus on hyvin riippuvainen lämpötilaerosta, joka osoittaa, että järjestelmä on hallinnassa. Kulutuksen minimi pysyy myös kesällä melko korkeana johtuen todennäköisesti uimahallin vedenkäsittelyn vaatimasta lämmityksestä.




*Kuva 52. Lammin liikuntakeskuksen kaukolämmön kulutuksen keskitehon suhde sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon vuonna 2013.*

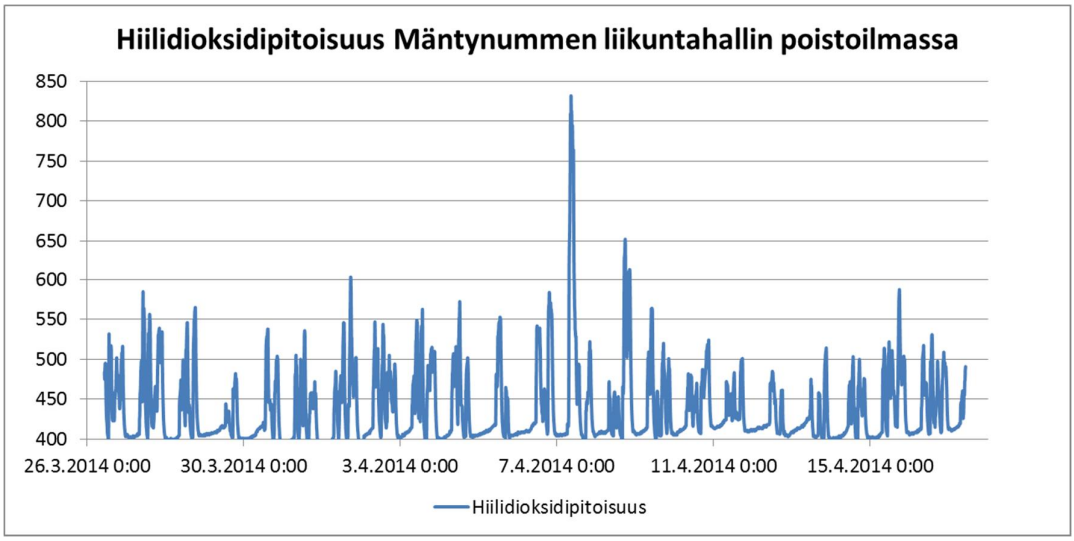
## 6.3 Mäntynummen liikuntahalli

Mäntynummen liikuntahallissa suoritettiin kohdan 4.4 mukaiset mittaukset rakennuksen ilmanvaihdosta aikavälillä 26.3. – 17.4.2014. Lisäksi hallista saatiin käyttöön automaation toimintaselostus. Liikuntahallin lämmitys on toteutettu pääsääntöisesti ilmalämpöpumpulla, jonka varajärjestelmänä toimii kaukolämpö. Mäntynummen liikuntahallin keskeiset tiedot koskien hallin energiatehokkuutta on kerätty taulukkoon 42. Liikuntahalli on osa Mäntynummen koulukeskusta ja kiinteistön energiankulutusta seurataan vain koko kiinteistön tasolla. Täten kulutuksen erottaminen liikuntahallin ja muiden kiinteistön rakennusten välillä on saatujen tietojen pohjalta mahdotonta. Hallista saatujen mittaustulosten perusteella voidaan tarkastella liikuntatilan hiilidioksidipitoisuuksia sekä ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton hyötysuhteita ja kosteuden siirtymistä lämmön talteenotossa. Koska halli ei ole ilmalämmitteinen, emme vertaile tulo- ja ulkoilman lämpötilojen korrelaatiota.

*Taulukko 42. Mäntynummen liikuntahallin energiatehokkuuden keskeiset tekijät.*

| | |
|---|---|
| Sijainti | Mäntynummi, Lohja |
| Hallin valmistumisvuosi | 2011 Joulukuu |
| Brutto pinta-ala | 1596 $m^2$ (Rakennusfakta, 2015) |
| Tilavuus | 11444 $m^3$ (Rakennusfakta, 2015) |
| Liikuntatilan pinta-ala | 782 $m^2$ (Lohjan Liikuntakeskus Oy, 2015) |
| Liikuntatilan vapaa korkeus | - |
| Rakennuksen lämmityksen lämmönlähde | Ilma-vesi lämpöpumppu 60 kW. Lisäksi varakaukolämpö. |
| Lämmönjako | Liikuntatilassa: Patterilämmitys.<br>Oheis- ja märkätilat: ei tietoa |
| Ilmanvaihdon toiminnan kuvaaminen ja mitoitusarvot | Yksi ilmanvaihtokone palvelee koko liikuntahallia. Suihku- ja WC tiloissa erilliset poistopuhaltimet.<br><br>Ei kiertoilmaa.<br>Regeneratiivinen LTO.<br>Aikaohjelma on aina pois päältä.<br><br>Ilmanvaihto käynnistyy kun aikaohjelma on päällä tai vahtimestarin huoneessa oleva munakello on päällä tai kun sisäilman $CO_2$ pitoisuus nousee yli 450 ppm.<br><br>Tulokanavan paine pidetään 190 Pa ja poistokanavan 250 Pa taajuusmuuttajilla. Oletetaan, että tämä koskee IV:n normaalikäyttöä.<br><br>Ilmanvaihdolla on kaksi käyttömoodia; normaali ja tehostettu. Normaali moodi IV:n ollessa käynnissä. Tehostettu ilmanvaihto menee päälle, kun vahtimestarin munakello on päällä tai kun sisäilman $CO_2$ pitoisuus nousee yli 800 ppm.<br><br>Tuloilmavirta:<br>Normaali käyttö: 1180 l/s<br>Tehostettu käyttö: 2530 l/s.<br><br>Poistoilmavirta:<br>Normaali käyttö: 3440 l/s<br>Tehostettu käyttö: 4795 l/s<br><br>Huoneilman lämpötilojen keskiarvo pidetään asetusarvossaan 19 °C muuttamalla tuloilman lämpötilaa välillä 15 – 23 °C. |

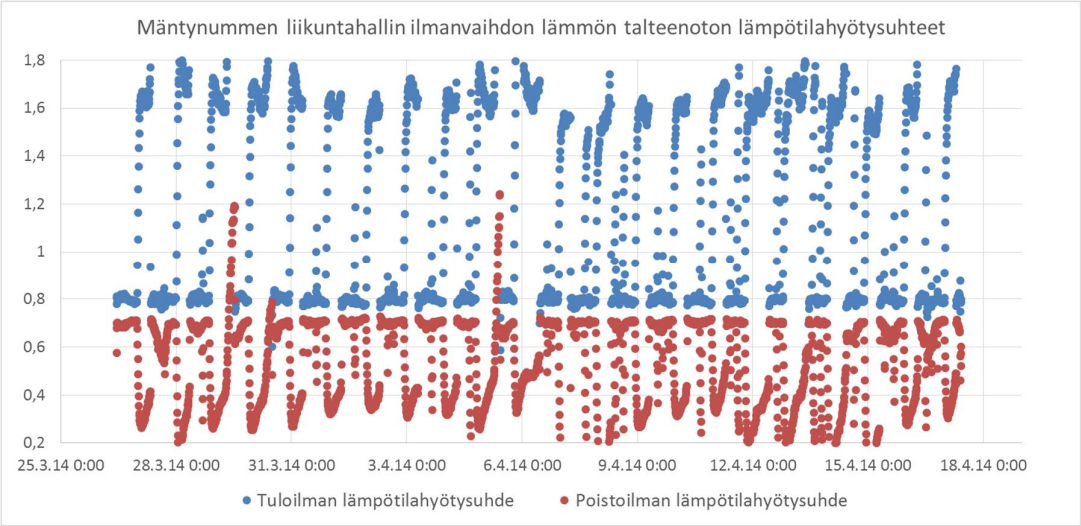
Mittaustulosten perusteella liikuntahallin hiilidioksidipitoisuus on ollut koko mittausjakson aikana erittäin matala. Mitatut hiilidioksidipitoisuuden liikuntahallin poistoilmasta on esitetty kuvassa 53. Hiilidioksidipitoisuus on pysynyt melkein koko mittausjakson ajan alle 600 ppm:n ja suurin mitattu piikki on ollut alle 850 ppm. Hiilidioksidipitoisuuden puolesta liikuntatilan ilmanvaihtoa voitaisiin pienentää.



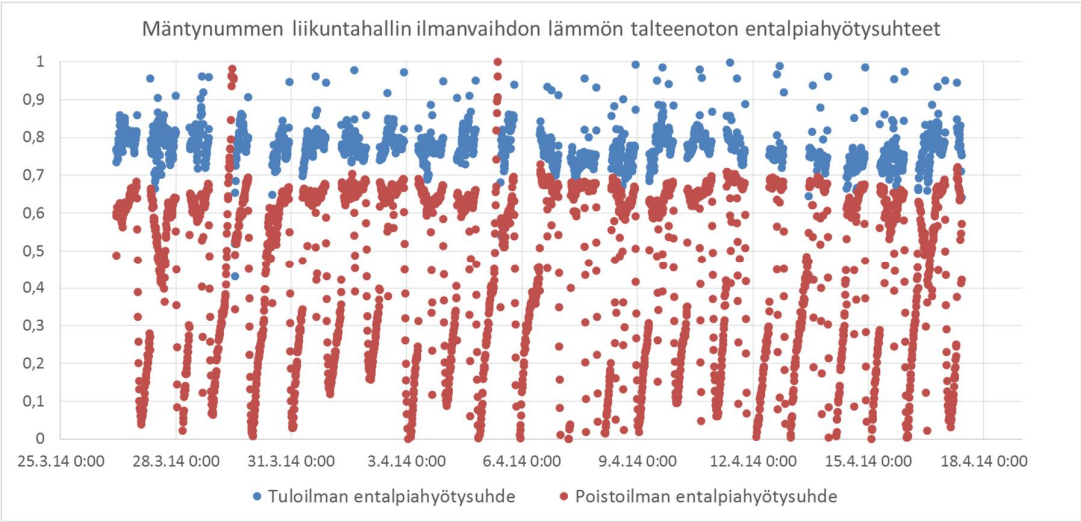

*Kuva 53. Mäntynummen liikuntahallin poistoilman hiilidioksidipitoisuus mittausjakson aikana.*

Mäntynummen liikuntahallin käyttöprofiili on hyvin vaihteleva, joka vaikeuttaa myös ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteen tarkastelua. Hallin ilmanvaihto on käytössä vain silloin, kun tilassa on käyttäjiä. Vaihtelevan käyttöaikataulun takia tarkasteluun on valittu koko mittausjakson aikainen data, josta voidaan päätellä ajankohdat, jolloin ilmanvaihto on päällä. Mäntynummen liikuntahallin ilmanvaihdosta mitatut lämmön talteenoton hyötysuhteet koko mittausjakson ajalta on esitetty kuvissa 54 & 55.

Kuvissa esiintyy paljon häiriöpisteitä, jotka ovat laskentatuloksia ajalta, jolloin ilmanvaihto ei ole ollut käynnissä. Käyntiaikaiset laskentatulokset asettuvat aina samalle tasolle ja erottuvat kuvista selkeästi. Kuvista voidaan päätellä, että ilmanvaihdon tuloilman lämpötilahyötysuhde on ollut noin 80 % ja poistoilman lämpötilahyötysuhde noin 70 % mittausjakson aikana ilmanvaihdon ollessa käynnissä. Tuloilman entalpiahyötysuhde on ollut myös noin 80 % ja poistoilman entalpiahyötysuhde noin 65 %.

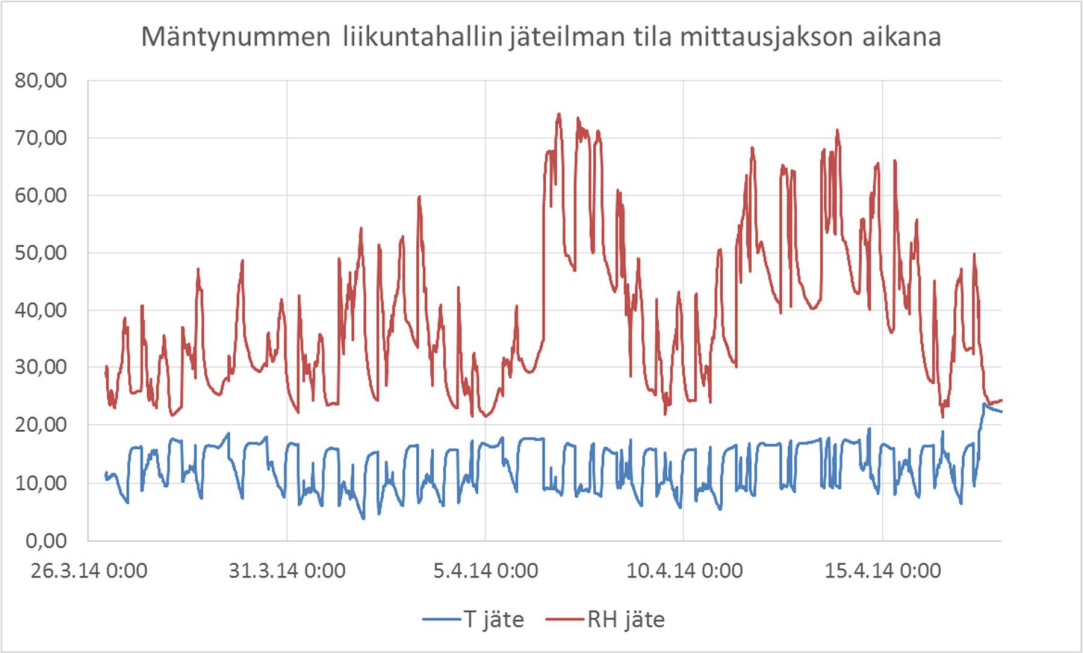



*Kuva 54. Mäntynummen liikuntahallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämpötilahyötysuhteet koko mittausjakson ajalta.*



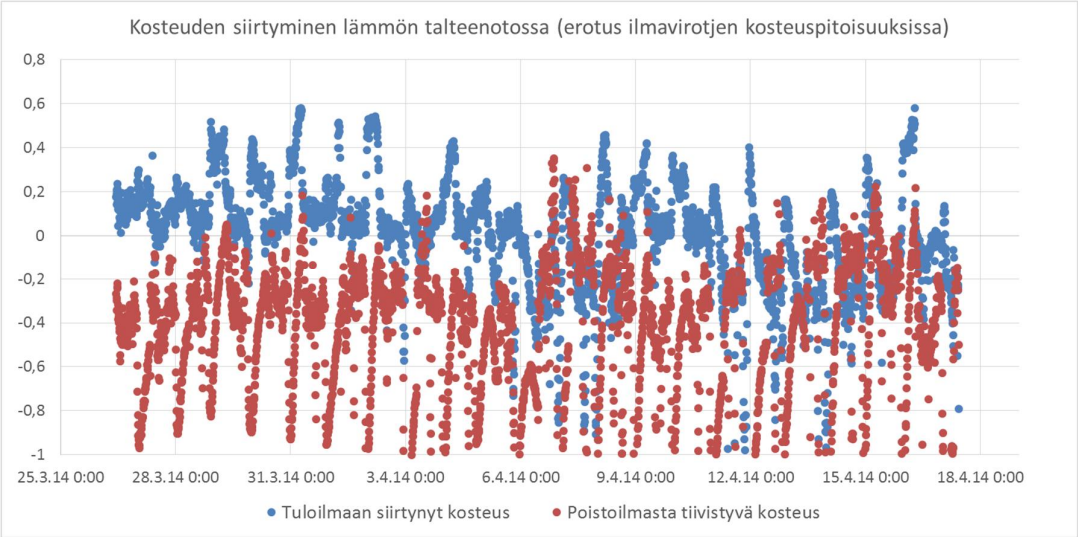

*Kuva 55. Mäntynummen liikuntahallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton entalpiahyötysuhteet koko mittausjakson ajalta.*

Mittausjakson aikainen jäteilman kosteuspitoisuus on ollut matala (Kuva 56). Jäteilman suhteellinen kosteuspitoisuus on noussut maksimissaan noin 75 % tasolle, joka osoittaa, ettei lämmön talteenotossa ole tapahtunut kondensoitumista.




*Kuva 56. Mäntynummen liikuntahallin ilmanvaihdon jäteilman tila mittausjakson aikana.*

Mittaustulosten perusteella tarkasteltiin myös kosteuden siirtymistä lämmön talteenotossa, jonka tulokset on esitetty koko mittausjakson ajalta kuvassa 57. Kosteutta on siirtynyt pääsääntöisesti melko vähän. Kuvien perusteella voidaan sanoa, että keskimääräisesti tuloilmaan on siirtynyt noin 0,1 g/m$^3$ kosteutta. Poistoilman puolella tulokset eivät ole loogisia, sillä negatiivinen mittaustulos kuvaa tilannetta, jossa jäteilma on poistoilmaa kosteampaa. Mittausten mukaisessa tilanteessa sekä tulo- että poistoilmavirtaan siirtyy kosteutta. Virhe saattaa johtua mittausvirheestä.




*Kuva 57. Mäntynummen liikuntahallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton tuloilmaan siirtyvä ja poistoilmasta poistuva kosteuspitoisuus.*

## 6.4 Susi Training Center, entinen Kisakallion tennishalli

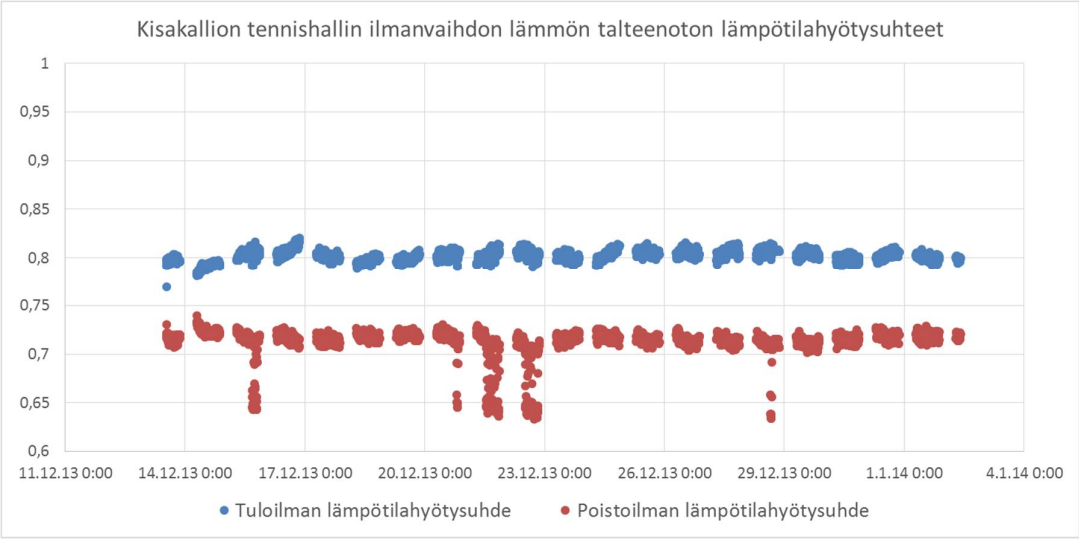
Susi Training Center on Kisakallion urheilupuistossa sijaitseva huipputason koripallohalli, joka vastaa kansainvälisiä standardeja. Halli otettiin käyttöön vuonna 2014. Ennen muutostöitä rakennusta käytettiin tennishallina eikä hallin rakenne- tai LVI-ratkaisuja ole todennäköisesti muutettu merkittävästi muutostöiden yhteydessä. Tässä työssä tarkastellaan entisen tennishallin ominaisuuksia, mutta niiden oletetaan pätevän myös nykyisen hallin kohdalla. Käytettävissä olivat rakennuksen automaatioselostus ja joitakin teknisiä LVI-piirustuksia mittaustietojen lisäksi. Asiakirjoista kootut rakennuksen energiateknistä toimintaa koskevat tiedot on koottu taulukkoon 43. Tietoja hallin energian kulutuksesta ei ollut käytettävissä.

*Taulukko 43. Kisakallion entisen tennishallin energiatehokkuutta kuvaavia tietoja.*

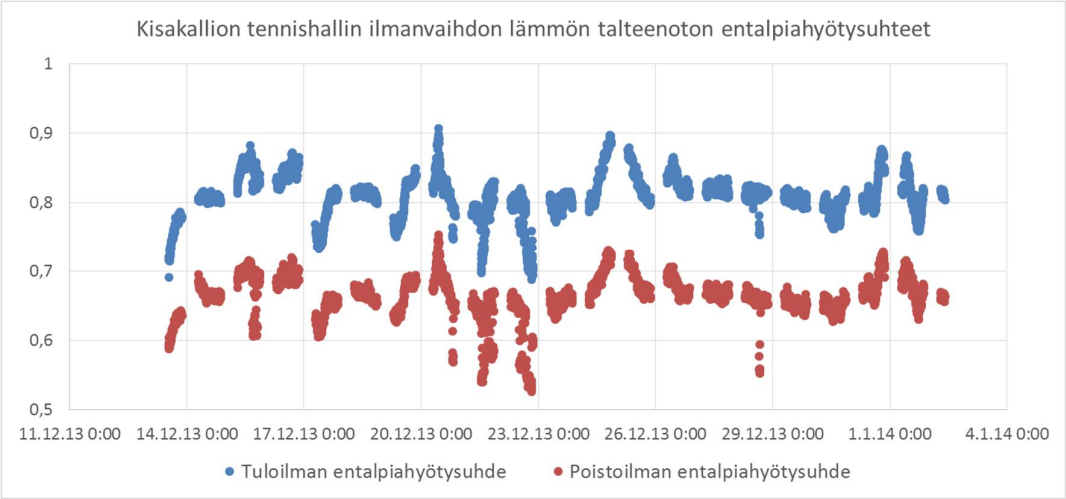
| | |
|---|---|
| Liikuntahallin nimi ja paikkakunta | Susi Training center, Lohja<br>(entinen Kisakallion tennishalli) |
| Hallin rakennusvuosi | 2011 muutostyöt 2013 |
| Rakennuksen kokonaispinta-ala* | n. 3270 $m^2$ (Teracon Oy, 2015) |
| Tilavuus | 34500 (Rakennusfakta.fi, 2015) |
| Ilmanvaihdon toiminnan kuvaaminen ja mitoitusarvot | Kohteessa kaksi ilmanvaihtokonetta.<br><br>Liikuntatilan IV: Raitisilma/LTO-koje ja kiertokoje<br><br>Raitisilma/LTO koje: Regeneratiivinen LTO. Omat puhaltimet: Pääosin ohjataan CO2 pitoisuuden perusteella. Kone käynnistyy kello-ohjelman mukaisesti tai CO2 käynnistysrajasta (800 ppm) kiertoilmakojeen käydessä. Käydessä CO2 pidetään asetusarvossa (700ppm) puhaltimien kierrosnopeutta säätämällä.<br><br>Kiertoilmakoje: Kiertoilmakoje käy kello-ohjelman, lämmitystarpeen tai LTOkoneen käydessä. Kojeessa oma puhallin. Ohjataan lämmitystarpeen mukaan. Ts asetusarvo 16 °C. Puhaltimen nopeuden säätö tuloilman lämpötilan mukaan.<br><br>Yöjäähdytys: Jos hallin Ts keskiarvo yli 20 °C ja ulkoilman sopivaa (10-15°C) käytetään yöjäähdytystä kunnes Ts 18°C.<br><br>Sosiaalitilojen IV: Vallox 200 SE pakettikone. Aikaohjaus ½ tai 1/1 nopeudelle. Oma automatiikka. Lisäksi kosteuden mittaus, joka käynnistää tehostuksen, jos kosteus nousee 10 % yli keskiarvon. |

Entisessä Kisakallion tennishallissa suoritettiin kohdan 4.4. mukaiset mittaukset aikavälillä 13.12.2013 – 2.1.2014. Myös näiden mittausten kohdalla tieto ilmavirtojen suuruudesta puuttui. Mittaustulosten perusteella pystyttiin tarkastelemaan ilmanvaihdon lämmön talteenoton tehokkuutta sekä kosteuden siirtymistä. Tarkastelu on kaikkien tekijöiden osalta rajattu aikavälille 07.00 – 21.00, sillä mittausdatan perusteella voitiin päätellä, että tällä aikavälillä ilmanvaihto on ollut käynnissä ja muuten pysäytettynä.

Mittausdatan perusteella pystyttiin tarkastelemaan Kisakallion tennishallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämpötila- ja entalpiahyötysuhteita, jotka on esitetty kuvissa 58 & 59. Yleisellä tasolla hyötysuhteet ovat olleet hyviä. Tuloilmasta laskettujen hyötysuhteiden arvot ovat olleet kaikissa tapauksissa korkeampia kuin poistoilman vastaavat arvot. Lämmön talteenoton hyötysuhteiden keskiarvot tarkastelujakson ajalta on esitetty taulukossa 44.




*Kuva 58. Kisakallion tennishallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton lämpötilahyötysuhteet mittausjakson aikana.*

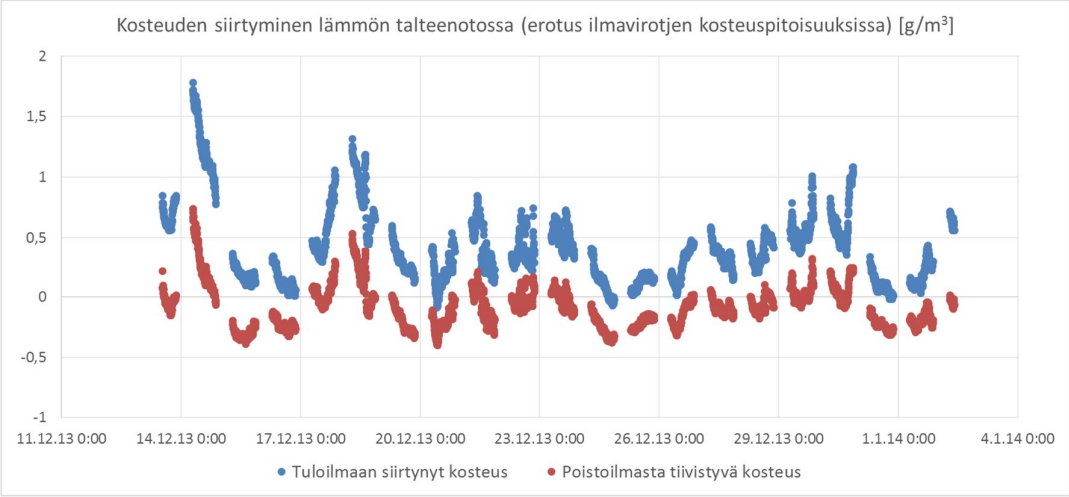



*Kuva 59. Kisakallion tennishallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton entalpiahyötysuhteet mittausjakson aikana.*

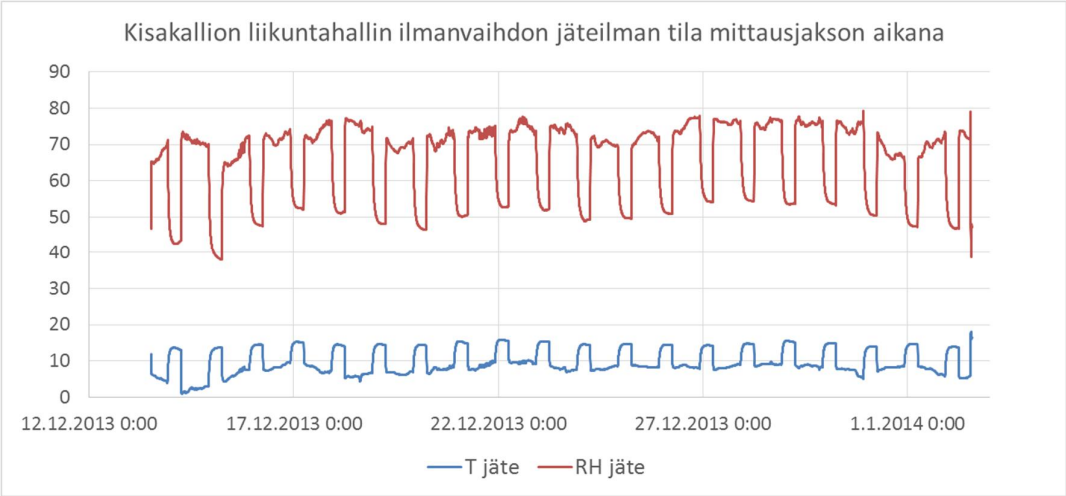
*Taulukko 44. Kisakallion tennishallin ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteiden keskiarvot mittausjakson ajalta.*

| Tuloilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo | Poistoilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo | Tuloilman entalpiahyötysuhteen keskiarvo | Poistoilman entalpiahyötysuhteen keskiarvo |
|---|---|---|---|
| 79,3 % | 72,0 % | 78,5 % | 64,7 % |

Mittausdatan perusteella tarkasteltiin myös kosteuden siirtymistä lämmön talteenotossa, joka on esitetty kuvassa 60. Ilmavirtojen kosteuspitoisuuksien muutokset eivät tässäkään tilanteessa täsmää, mutta kosteusliikkeiden profiilit seuraavat hyvin vahvasti toisiaan. Laskentatulosten tasoero siirtyvässä kosteudessa saattaa johtua mittausvirheestä.




*Kuva 60. Kosteuden siirtyminen Kisakallion tennishallin ilmanvaihdon lämmön talteenotossa.*




*Kuva 61. Kisakallion liikuntahallin ilmanvaihdon jäteilman tila mittausjakson aikana.*

Kuvassa 61 on esitetty mittaustulokset Kisakallion liikuntahallin ilmanvaihdon jäteilmasta. Jäteilman suhteellinen kosteus on pysynyt koko mittausjakson ajan alle 80 %:n, joka viittaa siihen, ettei lämmön talteenotossa ole tapahtunut kosteuden kondensoitumista.

# 7 Keskimääräinen liikuntahalli ja sen ominaisuudet

## *7.1 Keskimääräisen liikuntahallin dimensiot ja ominaiskulutukset*

Tässä osiossa käsitellään kaikkia tässä työssä aikaisemmin esitettyjä liikuntahalleja ja muodostetaan näiden tietojen pohjalta kuva keskimääräisestä liikuntahallista. Keskimääräisellä liikuntahallilla tarkoitetaan tässä työssä kuvitteellista liikuntahallia, joka kuvaa yleisesti liikuntahallia rakennuksena niin fyysisten ominaisuuksien kuin energian ja veden kulutuksien suhteen. Keskimääräiset arvot laskettiin kaikille tekijöille, jotka olivat saatavissa kolmesta tai useammasta liikuntahallista. Lähteet tässä osiossa esitetyille tiedoille on esitetty aikaisemmin työssä kunkin kohteen tarkemman tarkastelun yhteydessä.

Tietoa keskimääräisen liikuntahallin ominaisuuksista voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelmien suunnitteluarvojen valinnassa ja päivityksessä. Liikuntahallit ovat keskenään hyvin erilaisia rakennuksia, jolloin koko liikuntahallikantaa kuvaavan keskimääräisen hallin muodostaminen on haastavaa.

Keskimääräisen liikuntahallin dimensioiden tarkastelussa keskityttiin saman kokoluokan ja käyttötarkoituksen liikuntahalleihin. Tästä syystä tarkasteluun ei otettu mukaan Mikkelin monitoimihallia, joka oli muita kohteita selkeästi suurempi, eikä täten edustanut hyvin tämän tutkimuksen liikuntahalleja. Kootut dimensiot työssä käsitellyistä liikuntahalleista ja näiden pohjalta lasketuista keskiarvoista on esitetty taulukossa 45. Tarkasteltujen liikuntahallien tiedoista pystyttiin keräämään myös muita rakennuksen energiateknistä toimintaa kuvaavia lukuja, jotka on esitetty taulukossa 46.

Keskimääräisen liikuntahallin energian ja veden ominaiskulutuksien suuruus laskettiin keskiarvona työssä tarkastelluista ominaiskulutuksista. Liikuntahallien ominaiskulutusten tarkastelu on esitetty taulukossa 47.

Keskimääräisen liikuntahallin tarkastelun helpottamiseksi kaikki taulukoissa 45 - 47 esitetyt tiedot on kerätty yhteen taulukkoon 48.

Liikuntatilan lattia-alan osalta keskimääräinen liikuntahalli on RT 97–11146 -kortin määritelmän mukaan ”liikuntahallia (920…1075 m²)” suurempi, mutta ”suurta liikuntahallia (2400…2840 m²)” pienempi. Hallitilan vapaan korkeuden osalta keskimääräinen halli on matala, vain noin 7m, jolloin tilassa ei voida harrastaa joitakin lajeja. (Rakennustieto, 2014)

Liikuntatilan asennettu valaistuksen teho on SRMK D3 (2012) tasoa (12 w/m$^2$) merkittävästi korkeampi (16 W/m$^2$). On kuitenkin otettava huomioon, että tämän tutkimuksen otos oli melko pieni ja valaistuksen tason varianssi suuri. Myös uusien liikuntahallien valaistuksissa on merkittäviä eroja. Joidenkin energiatehokkaiden hallien kohdalla valaistusteho oli SMRK D3 (2012) tasoa alhaisempi.

*Taulukko 45. Tässä työssä tarkasteltujen liikuntahallien keskeiset ominaisuudet ja näiden ominaisuuksien pohjalta muodostetut keskiarvot.*

| Kohde | Rakennus-vuosi | Liikuntatilan bruttoala [brm$^2$] | Bruttoala yh-teensä [brm$^2$] | Liikuntatilan korkeus [m] | Liikuntatilan va-paa korkeus [m] | Koko rakennuksen tilavuus [m$^3$] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pirkkalan liikuntahalli | 2000 | 1100 | 2864 | 8 | - | 14092 |
| Tennishalli, esimerkki-kohde | teoreettinen | 2785 | 3073 | 7,8 (keskikorkeus) | min 7 | 22838 |
| Tennishalli (kiinteä), keskiarvo | 1985 | - | 3620 | - | - | 28039 |
| Poltinahon salibandy-halli | 2004 | 1600 | 2190 | - | - | 20940 |
| Sulkavan liikuntahalli | 1990 | - | 1806 | - | - | 11700 |
| Summahalli | 2011 | 2155 | 3055 | ~9,2 max 10,2 | 7 | 24000 |
| Agrocola halli | 2004 | 1459 | 1924 | 7-8 | 7 | 14710 |
| Mäntynummen liikunta-halli | 2011 | - | 1596 | - | - | 11444 |
| Susi Training Center / Kisakallion tennishalli | 2011 | - | 3270 | - | - | 34500 |
| Keskiarvo; Keskimää-räinen liikuntahalli | - | 1814 | 2600 | 8,1 | 7 | 20251 |

*Taulukko 46. Liikuntahallien energiateknisiä tietoja ja niistä muodostetut keskiarvot.*

| Kohde | Aukioloaika | Liikuntatilan valaistuksen teho | Keskimääräinen käyttöaste | Tilavuuden suhde pinta-alaan, keskikorkeus [m] | Liikuntatilan ilmanvaihdon LTO hyötysuhde [%] |
|---|---|---|---|---|---|
| Pirkkalan liikuntahalli | 4704h/a<br>98 h/vko<br>48 vko/a | 25,9 W/m$^2$<br>(28,5 kW) | - | 4,92 | 65 |
| Tennishalli, esimerkkikohde | 275 vrk /a<br>14h/pv | 10,34 W/m$^2$<br>(28,8 kW) | 75 % | 7,4 | 0* |
| Tennishalli (kiinteä), keskiarvo | 97 h/vko<br>13,9 h/pv | 11 W/m$^2$<br>(7,1 kW) | 78 % | 7,74 | 0* |
| Poltinahon salibandyhalli | 14,5 h/pv | - | - | 9,56 | 83 |
| Sulkavan liikuntahalli | - | -<br>(15,7 kW) | - | 6,48 | - |
| Summahalli | 14 h/pv<br>340 pv/a | 10,86 W/m$^2$<br>(23,4 kW) | 70 % | 8,22 | 73<br>(muut tilat 53) |
| Agrocola halli | vaihteleva | 21,93 W/m$^2$<br>(32 kW) | - | 7,65 | 75 |
| Mäntynummen liikuntahalli | - | - | - | 7,17 | 80 (mitattu) |
| Susi Training Center / Kisakallion tennishalli | - | - | - | 10,55 | 79,3 (mitattu) |
| Keskiarvo | 14,2 h/pv**<br>4210 h/a** | 16,0 W/m$^2$ | 68,2** | 7,74 | 75,9* |

* Tarkastelussa ei otettu huomioon kohteita, joissa ei ole ollenkaan lämmön talteenottoa.
** Keskiarvon laskennassa on otettu huomioon myös kohdassa 2.6 esitetyt tulokset.

*Taulukko 47. Tässä työssä tarkasteltujen liikuntahallien energian ja veden ominaiskulutuksia sekä niiden pohjalta muodostetut keskiarvot.*

| Kulutus/Kohde | Motivan ominaiskulutukset | Pirkkalan liikuntahalli | Mikkelin monitoimihalli, ilmalämmitys, tiivistys sekä CO2 ohjattu ilmanvaihto | Tennishalli esimerkkikohde | Tennishalli (kiinteä), keskiarvo | Sulkavan liikuntahalli | Summahalli | Agricola halli | Keskiarvo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lämpöenergian kulutus kWh/brm$^2$a | 353,7 | 216 | 41,2 | 51,4 | 68,8 | 49,9 | 99,7 | -** | 125,8 |
| Lämpöenergian kulutus kWh/Rm$^3$a | 45,7 | 44 | 3,59 | 6,9 | 8,8 | 7,7 | 12,7 | -** | 18,5 |
| Sähkön kulutus kWh/brm$^2$a | 150,2 | 188 | 61 | 61,2 | 90,8 | 103,0 | 73,3 | 84** | 103,9 |
| Sähkön kulutus kWh/Rm$^3$a | 19,4 | 38,1 | 5,32 | 8,2 | 11,6 | 15,9 | 9,3 | 11** | 15,4 |
| Veden kulutus m$^3$/brm$^2$a | 0,635 | - | 0,343 D3 2012 | 0,28 | 0,29 | 0,368 | 0,324 | 0,163 | 0,343 |
| Veden kulutus m$^3$/Rm$^3$a | 0,082 | - | - | 0,04 | 0,04 | 0,057 | 0,041 | 0,021 | 0,047 |

* Keskiarvon laskennassa ei huomioitu Mikkelin monitoimihallin veden kulutusta, joka on SRMK D3 (2012) mukainen, eikä täten kuvaa todellista mitattua kulutusta

** Agricola-halli on maalämpö/sähkölämmitteinen, eikä lämmitykseen kuluvaa sähköenergiaa mitata erikseen. Lämmityksen osa on mukana sähkön kulutuksessa.

*Taulukko 48. Keskimääräisen liikuntahallin fyysiset ominaisuudet ja ominaiskulutukset.*

| Keskimääräisen liikuntahallin ominaisuudet | |
|---|---|
| Bruttoala $brm^2$ | 2600 |
| Liikuntatilan bruttoala $brm^2$ | 1814 |
| Oheistilojen bruttoala $brm^2$ | 771 |
| Tilavuus $m^3$ | 20251 |
| Liikuntatilan korkeus m | 8,1 |
| Liikuntatilan vapaa korkeus m | 7 |
| Liikuntatilan asennettu valaistusteho $W/m^2$ | 16 |
| LTO hyötysuhde | 75,9 |
| Aukioloaika | 14,2 h/pv, 4210 h/a |
| Lämpöenergian kulutus $kWh/brm^2a$ | 125,8 |
| Lämpöenergian kulutus $kWh/Rm^3a$ | 18,5 |
| Sähkön kulutus $kWh/brm^2a$ | 103,9 |
| Sähkön kulutus $kWh/Rm^3a$ | 15,4 |
| Veden kulutus $m^3/brm^2a$ | 0,343 |
| Veden kulutus $m^3/Rm^3a$ | 0,047 |

Liikuntahallien energian ja veden kulutuksien tarkastelussa voidaan muodostaa myös kuva nykyaikaisesta, energiatehokkaasta hallista. Liikuntahallien ominaiskulutusten arvoja taulukossa 47 nostavat voimakkaasti Motivan energiakatselmusten sekä Pirkkalan liikuntahallin kulutukset. Edellä mainitut arvot edustavat vanhoja liikuntahalleja. Niiden poistaminen ominaiskulutusten tarkastelusta laskee keskiarvoja merkittävästi. Nämä uudet, taulukossa 49 esitetyt ominaiskulutukset edustavat uudempia ja tehokkaampia liikuntahalleja.

*Taulukko 49. Liikuntahallien ominaiskulutukset ilman Motivan ja Pirkkalan liikuntahallin tuloksia.*

| Kulutus/Kohde | Mikkelin monitoimihalli, ilmalämmitys, tiivistys sekä CO2 ohjattu ilmanvaihto | Tennishalli esimerkkikohde | Tennishalli (kiinteä), keskiarvo | Sulkavan liikuntahalli | Summahalli | Agricola halli | Keskiarvo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lämpöenergian kulutus kWh/brm$^2$a | 41,2 | 51,4 | 68,8 | 49,9 | 99,7 | -* | 62,2 |
| Lämpöenergian kulutus kWh/Rm$^3$a | 3,59 | 6,9 | 8,8 | 7,7 | 12,7 | -* | 7,9 |
| Sähkön kulutus kWh/brm$^2$a | 61 | 61,2 | 90,8 | 103 | 73,3 | 84* | 77,9 |
| Sähkön kulutus kWh/Rm$^3$a | 5,32 | 8,2 | 11,6 | 15,9 | 9,3 | 11* | 10,1 |
| Veden kulutus m$^3$/brm$^2$a | 0,343 ** | 0,28 | 0,29 | 0,368 | 0,324 | 0,163 | 0,285 |
| Veden kulutus m$^3$/Rm$^3$a | ** | 0,04 | 0,04 | 0,057 | 0,041 | 0,021 | 0,040 |

* halli on sähkölämmitteinen, eikä lämmitysenergiaa tarkastella erikseen. Ominaiskulutuksia ei oteta huomioon keskiarvon laskennassa.
** Hallin veden kulutus oli oletettu SRMK D3 (2012) mukaiseksi, eikä sitä otettu mukaan keskiarvon laskennassa.

## 7.2 Energiankulutuksen jakautuminen keskimääräisessä liikuntahallissa

Tässä työssä kerättyjen tietojen pohjalta voidaan muodostaa myös kuva siitä, mihin keskimääräisessä liikuntahallissa käytettävä energian kulutetaan. Kulutuksen jakautuminen on esitetty taulukossa 50 sekä kuvissa 62 – 64.

Kulutuksen jakautuminen antaa myös karkean kuvan siitä, missä on liikuntahallin suurin energiansäästöpotentiaali. Yleensä eniten energiaa kuluttavien prosessien tehostaminen tuo kokonaisuuden kannalta myös suurimmat säästöt, joka ohjaa tehostustoimenpiteiden tarkastelua ja suunnittelua.

Lämpöenergian kulutuksen osalta suurimmat tekijät ovat odotetusti tilojen lämmitys ja ilmanvaihdon lämpöenergian kulutus. Näiden kahden osa-alueen tehokas toteutus heijastuu koko liikuntahallin lämpöenergia kulutukseen. Myös sähköenergian osalta jakauma on selkeä. Suurimman vaikutuksen sähköenergian kulutukseen tekevät valaistus sekä LVI-laitteet. Kyseisten prosessien tehokas toteutus heijastuu voimakkaasti rakennuksen kokonaissähköenergian kulutukseen. Muiden, sekundääristen toimintojen lämpö- ja sähköenergian kulutus on hyvin pientä.

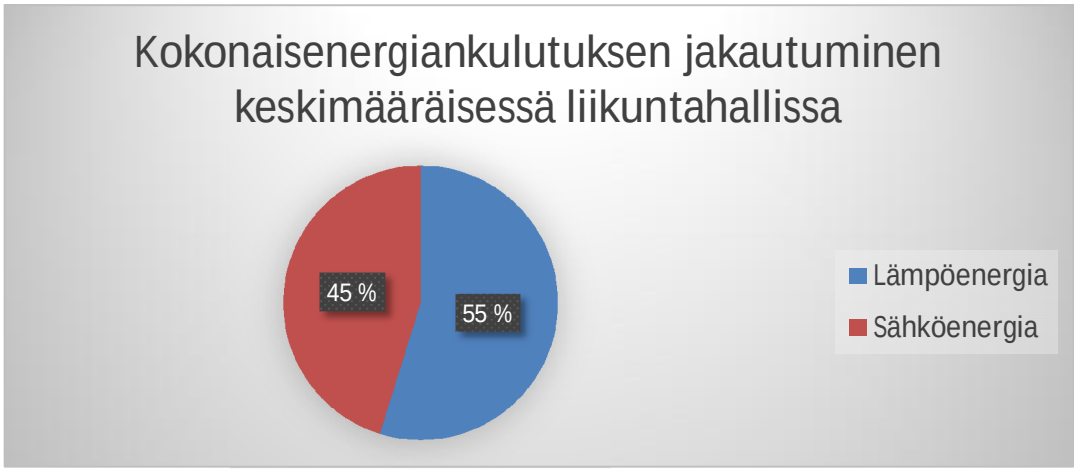
*Taulukko 50. Liikuntahallien energiankulutuksen jakautuminen ja niistä muodostettu keskimääräistä liikuntahallia kuvaava keskiarvo.*

| | Kurnitski 2009 | Pirkkalan liikuntahalli | Mikkeli, ilmalämmitys, CO2 ja tiivistys | Poltinaho | Tennishalli, esimerkki | Summahalli, laskettu, helmikuu 2015 | Summahalli, mallinnus | Agricola halli | Keskiarvo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kokonaiskulutus** | | | | | | | | | |
| Lämmityksen osuus | 67 | 54 | 40 | 65 | 46 | 56 | 56 | - | 54,8 |
| Sähkön osuus | 33 | 46 | 60 | 35 | 54 | 44 | 44 | - | 45,2 |
| **Lämmönkulutusken jakautuminen** | | | | | | | | | |
| Tilojen lämmitys (johtuminen) | 44 | 33 | 45 | - | 44 | 39 | 49 | - | 42,3 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 37 | 56 | - | 26 | 51 | - | 37 | - | 41,4 |
| LKV | 19 | 11 | (55)* | - | 5 | 10 | 12 | - | 11,4 |
| **Sähkönkulutuksen jakautuminen** | | | | | | | | | |
| Valaistus | 52** | 25 | 42** | - | 57 | (26)*** | 50 | 45 | 45,2 |
| LVI | 38** | 43 | 48** | - | 40 | - | 42 | 45 | 42,7 |
| muut | 10** | 32 | 10** | - | 3 | - | 8 | 10 | 12,1 |

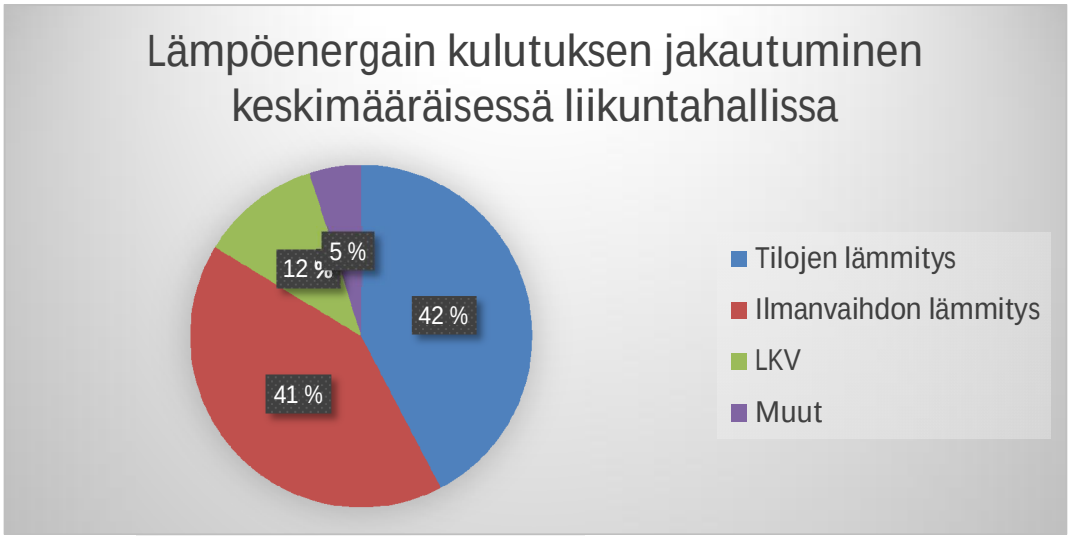
* Erittäin korkea arvo, joka ei todennäköisesti ole realistinen. Ei huomioida keskiarvon laskennassa.

** Lähteessä ei otettu huomioon muita sähköenergiaa kuluttavia prosesseja kuin valaistus ja LVI. Muiden sähköä kuluttavien prosessien osuudeksi on arvioitu 10 %, joka on vähennetty valaistuksen ja LVI:n osuudesta vähentämällä molemmista osista 5 prosenttiyksikköä.

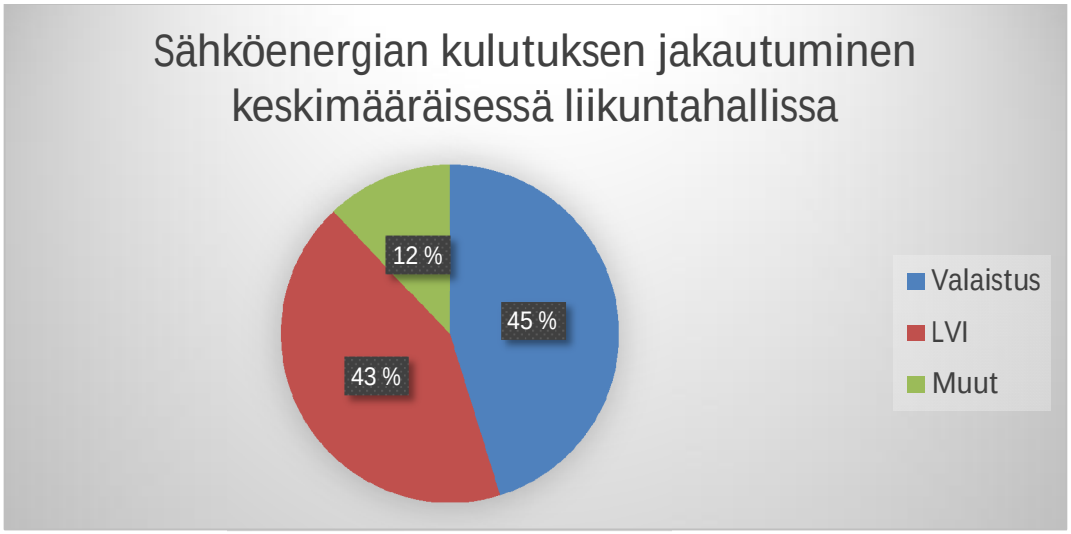
*** vain liikuntatilan valaistuksen osuus. ei oteta huomioon keskiarvon laskennassa.




*Kuva 62. Kokonaisenergian kulutus keskimääräisessä liikuntahallissa.*




*Kuva 63. Lämpöenergian kulutuksen jakautuminen eri prosesseihin keskimääräisessä liikuntahallissa.*




*Kuva 64. Sähköenergian kulutuksen jakautuminen eri prosesseihin keskimääräisessä liikuntahallissa.*

# 8 Yhteenveto

Liikuntahalli poikkeaa rakennuksena muusta rakennuskannasta merkittävästi. Halleille on ominaista suuri yhtenäinen lämmitetty liikuntatila, jonka tilavaatimukset muodostuvat harrastettavien lajien pohjalta. Oheistilojen määrä rakennuksessa on vaihtelevaa ja niiden tilavaatimukset ovat hyvin erilaiset verrattuna liikuntatilaan.

Liikuntahalleihin liittyy useita energian- ja kosteusteknistä suunnittelua ohjaavia tekijöitä, jotka poikkeavat muista rakennuksista. Korkeissa liikuntatiloissa ilman kerrostuminen vaikuttaa ilmanvaihdon suunnitteluun ja rakennuksen painesuhteisiin sekä tätä kautta kosteustekniseen toimintaan. Ilmanvaihdon toteutus ja toiminta ovat avainroolissa hyvän sisäilman luomisessa. Liikuntatilan voimakas valaistus vaikuttaa keskeisesti rakennuksen sähkön kulutukseen ja muodostaa samalla voimakkaan lämpökuorman tilaan. Liikuntahallien käyttäjämäärät ovat hyvin vaihtelevia ja painottuvat arkipäivien iltoihin ja viikonlopuille. Myös rakennuksen arkkitehtuurilla voidaan vaikuttaa tilan toimivuuteen ja energiatehokkuuteen. Kaikkien näiden tekijöiden hallinta kokonaisuutena luo edellytyksen energiatehokkaalle ja toimivalle liikuntahallille.

Liikuntahallien energiatehokkuudesta ja energian käytön jakautumisesta on julkaistu hyvin vähän tietoa eikä yhteistä julkista tietokantaa ole. Tässä työssä etsittiin tietoa liikuntahallien toteutuneista ja laskennallisista kulutuksista sekä fyysisitä ominaisuuksista ja teknisistä ratkaisuista Suomessa. Näiden tietojen pohjalta muodostettiin myös kuva keskimääräisestä liikuntahallista ja sen ominaisuuksista.

Tarkasteltujen liikuntahallien energiankulutuksien tasoerot ovat valtavat. Suomen rakentamismääräyskokoelman esittämä E-luvun suurin sallittu arvo liikuntahallille on 170 kWh/m$^2$,a (Ympäristöministeriö, 2012). Suurin tässä työssä esitetty E-luku on 503 kWh/m$^2$,a, joka kuvaa energiakatselmusten kohteena vuosina 2005 - 2011 olleiden liikuntahallien energiankulutuksen mediaania. On huomioitava, että kyseessä on mediaani, ja joidenkin katselmuskohteiden kohdalla kulutus on ollut vielä tätäkin arvoa merkittävästi suurempi. Työssä esitetty pienin E-luku on 80,7 kWh/m$^2$,a, joka on alhaisin simuloitu tulos Mikkelin monitoimihallin E-luvusta tilanteessa, jossa rakennuksessa on käytössä lukuisia energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja.

Käytetyn aineiston energiankulutuksien suuri varianssi heijastui myös keskimääräisen liikuntahallin energiankulutuksen kuvaukseen. Esimerkiksi koko aineiston pohjalta luotu keskimääräinen lämpöenergian ominaiskulutus on 125,8 kWh/brm$^2$,a ja sähköenergian ominaiskulutus 103,9 kWh/brm$^2$,a. Kun tarkastelun ulkopuolelle jätettiin kaksi suurinta kuluttajaa, ominaiskulutukset laskivat merkittävästi ja lämpöenergian kulutus laski arvoon 62,2 kWh/brm$^2$,a ja sähköenergian kulutus arvoon 77,9 kWh/brm$^2$,a.

Keskimääräisen liikuntahallin energian kokonaiskulutus jakautuu suhteessa 55 % lämpöja 45 % sähköenergiaa. Lämpöenergian osalta suurimpia kulutustekijöitä ovat tilojen lämmitys (42 %) ja ilmanvaihdon lämmitys (41 %). Lämpimän käyttöveden osuus lämpöenergian kulutuksesta on noin 12 %. Sähköenergian kulutuksen keskeiset tekijät ovat valaistus (45 %) sekä LVI-sähkö (43 %).

Työssä tarkasteltiin erityisesti Espoon Tapiolassa sijaitsevaa Summahallia Case-kohteena. Hallin teknisten asiakirjojen, mittausdatan sekä hallihenkilökunnan haastattelujen

perusteella muodostettiin tarkka kuva hallin energiateknisestä lähtötilanteesta. Hallin lähtötilanne mallinnettiin IDA-ICE – simulointiohjelmalla.

Summahallin energiatehokkuuden parantamisen mahdollisuuksia tarkasteltiin mallintamalla erilaisten toimenpiteiden vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen. Suurin kokonaisenergian säästö saavutettiin muuttamalla koko rakennuksen ilmanvaihto vakioilmavirtaisesta tarpeenmukaiseksi. Hiilidioksidiohjatun ilmanvaihdon vaikutus kokonaisenergiankulutukseen oli noin -20 %. Ilmanvaihdon ohjauksen muutos on todennäköisesti toteutettavissa myös kohtuullisin investointikustannuksin.

Mallinnuksen yhteydessä nousi esille ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan vaikutus rakennuksen kosteustekniseen toimintaan. Summahallissa tuloilman lämpötila oli lähtötilanteessa hallitsemattoman korkea, mutta se paransi huomattavasti rakennuksen kosteusteknistä toimintaa. Tuloilman lämpötilan muuttaminen järkevämmäksi nosti liikuntatilan suhteellisen kosteuden arvoja paikoin jopa vaarallisen korkealle. Lisäksi tuloilman lämpötilan muutos nosti odotusten vastaisesti puhallinsähkön käyttöä ilmanvaihdossa.

Simulointimallinnukset osoittavat, että tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä liikuntahalleissa. Tarpeenmukainen, hyvällä lämmön talteenotolla ja toimivalla ilmanjaolla varustettu ilmanvaihto on edellytys energiatehokkaalle liikuntahallille.

Tämän työn pohjalta voidaan todeta, että hallitsemalla liikuntahallin keskeiset energiankulutuksen tekijät voidaan saavuttaa merkittäviä energiankulutuksen säästöjä, jotka heijastuvat suoraan myös rakennuksen käyttökustannuksiin. Jatkotutkimuksen osalta energiatehokkaita ratkaisuja voidaan tutkia kohdekohtaisesti tarkemmin ja parametrien optimoinnilla energiatehokkuutta voidaan todennäköisesti parantaa vielä merkittävästi. Eräs jatkotutkimuksen kohde voisi olla tuloilman lämpötilan vaikutus rakennuksen toimintaan tarpeenmukaisesti ohjautuvassa ilmanvaihdossa ja kyseisen arvon optimointi. Energiatehokkuuden tarkastelussa on aina tarkasteltava myös rakennuksen kosteusteknistä toimintaa.

# Lähteet


Balaras, C., 1995. The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and buildings,* Osa/vuosikerta 24.

Eriksson, M., 2008. *Trends in the Norwegian ventilation market and drivers for change*

Gabrielsson, J., Helamaa, E. & R, S., 1983. *Energiakäsikirja.* :Rakennuskirja Oy.

Häyrinen, E., 2013. *Uima-, jää- ja liikuntahallien nykytila*: Suomen Liikunnan Ammattilaiset ry.

Ilmatieteen laitos, 2015. *Ilmatieteenlaitos.fi.* [Online] Available at: http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut [Haettu 4 9 2015].

Jyväskylän Yliopisto, 2015. *LIPAS liikuntapaikat.fi.* [Online] Available at: http://liikuntapaikat.fi/lipas [Haettu 24 6 2015].

Järnström, H. & Saarela, K., 2005. *Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa*: VTT.

Kamula, P., 2015. *Ylivieskan liikuntakeskuksen energiatehokkuuden kehittäminen*

Kisakallio, 2015. *Kisakallio.* [Online] Available at: http://www.kisakallio.fi/valmennus/liikuntatilat/stc.html [Haettu 29 9 2015].

Kivinen, J., 2015. *Lähes nollaenergiarakentaminen liikuntahallissa Case L-talo TAMK.*

Kurnistki, J., 2009. Rakennusten energiateohkkuuden osoittaminen kiinteistöveron porrastusta varten

Kuusela, M., 2013. *Monitoimihallin energiatehokkuuden varmistaminen.*

Liikuntapaikkajulkaisu, O., 2007. *Liikuntapaikkarakentamisen ympäristövaikutukset.*

Liikuntapaikkajulkaisu, O.-. j. k., 2012. *Voimistelutilojen suunnittelu.*

Lohjan Liikuntakeskus Oy, 2015. *Lohjan Liikuntakeskus Oy.* [Online] Available at: http://palvelut.lohja.fi/liikuntakeskus/default.asp?kieli=246&id_sivu=83&alasivu=83 [Haettu 25 9 2015].

Motiva Oy, 2014. *Motiva.* [Online] Available at: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia [Haettu 10 8 2015].

Myllylä, P. & Lod, T., 2003. *Pitkäikäinen puurakenteinen halli*: Tampereen teknillinnen yliopisto.

Nissinen, K., 1993. *Tennishallien taloudellisuus ja toimivuus*:VTT.

Nissinen, K. & Möttönen, V., 2013. *Sisäliikuntapaikkojen kysynnän ja tarjonnan nykytila*

Olin, M. & Ulmanen, A., 2009. *Liikuntasalin ilmanvaihdon nykyaikaistaminen perustuen sisäilmanlaadun mittauksiin*

Opetus- ja Kulttuuriministeriö, 2012. *Liikuntapaikkajulkaisu 103 Voimistelutilojen suunnittelu.* s.l.:Rakennustieto OY.

Opetusministeriö, A. S. T. S. P. S. S. T., 2007. *Liikuntapaikkajulkaisu 91*

Parkkila, T., 2011. *URHEILUTALON ILMANVAIHTOSUUNNITTELU*

Partanen, J.-P., 2011. *Taajuusmuuttajakäytön hyödyt käytössä olevissa ilmanvaihtokoneissa.*

Pessenlehner, W. &. M. A., 2003. *BUILDING MORPHOLOGY, TRANSPARENCE, AND ENERGY PERFORMANCE*, Eighth International IBPSA Conference.

Rakennusfakta.fi, 2015. *http://www.rakennusfakta.fi/tennishalli-kisakallioon-kisakalliontie-284/project.html.* [Online] Available at: http://www.rakennusfakta.fi/tennishalli-kisakallioon-kisakalliontie-284/project.html
[Haettu 29 9 2015].

Rakennusfakta, 2015. *Rakennusfakta*. [Online] Available at: http://www.rakennusfakta.fi/mantynummen-liikuntahalli-mantynummenkuja-15/project.html
[Haettu 25 9 2015].

Rakennustieto Oy, 1998. *Sulkapallohallien suunnittelu- ja rakentamisopas.* Saarijärvi

Rakennustieto, 2014. *RT 97-11146 Sisäliikuntatilat*

Räikkönen, M., 2012. *Jäähallin energiatehokkuus.*

Said M.N.A., M. R. D. G., 1995. *Measurement of thermal stratification in large single-cell buildings*: Energy and Buildings 24 (1996).

Salo, J., 2009. *Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatteet ja mahdollisuudet.*

Seppänen, O., 2008. *Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto.*

Siikanen, U., 1996. *Rakennusfysiikka*: Rakennustieto Oy.

Teracon Oy, 2015. *http://www.ss-teracon.fi/referenssit/.* [Online] Available at: http://www.ss-teracon.fi/referenssit/lohjan-kisakallio-tennishalli/ [Haettu 29 9 2015].

Tuomela, S., Sekki, T. & Saari, A., 2003. *Liikuntahallin ympäristökuormitukset*

Weather underground, 2015. *Weather underground.* [Online] Available at: http://www.wunderground.com/history/airport/EFHF/2011/2/15/MonthlyHistory.html?req_city=Espoo&req_statename=Finland&reqdb.zip=00000&reqdb.magic=2&reqdb.wmo=02703
[Haettu 28 8 2015].

Weather underground, 2015. *weatherunderground.com/history*. [Online] Available at: http://www.wunderground.com/history/airport/EFHF/2015/2/5/MonthlyHistory.html?req_city=Espoo&req_state=&req_statename=Finland&reqdb.zip=00000&reqdb.magic=2&reqdb.wmo=02703
[Haettu 10 5 2015].

Yli-Rosti, L., 2012. *Uimahallin allastilan lämmönkulutus ja kosteudenhallinta.*

Ympäristöministeriö, 1998. *C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma.*

Ympäristöministeriö, 2007. *D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma.*

Ympäristöministeriö, 2012. D2 *Suomen rakentamismääräyskokoelma.*

Ympäristöministeriö, 2012. *D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma.*

Ympäristöministeriö, 2012. *D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma.*

# Liite 1. Esimerkkejä tennishallien valaistuksesta

| VALAISTUSMITTAUSTEN HAVAINTOAINEISTO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Koe-kohde | Halli | Kentän numero | Valaisin-tyyppi | Lukumäärä ja teho | Teho | Teho |
| | | | | | kW | W/m2 |
| 1 | Hiekkaharju | 7 | NaH+MH | 10*250+10*250 | 5,0 | 7,7 |
| 2 | Hiekkaharju | 5 | Loistel. | 26*3*65 | 5,1 | 7,8 |
| 3 | Hyrylä | 2 | Loistel. | 44*3*58 | 7,7 | 11,8 |
| 4 | Varisto | 4 | Loistel. | 34*3*58 | 5,9 | 9,1 |
| 5 | Tali | 5 | Loistel. | 40*3*58 | 7,0 | 10,7 |
| 6 | Tali | 10 | Loistel. | 80*2*58 | 9,3 | 14,3 |
| 7 | Tali | yph. | Loistel. | 31*3*58 | 5,4 | 8,3 |
| 8 | Myllypuro | 6 | MH | 28*400 | 11,2 | 17,3 |
| 9 | Laajasalo | D | Loistel. | 36*4*58 | 8,4 | 12,9 |
| 10 | Merihaka | 2 | Loistel. | 92*2*58 | 10,7 | 16,5 |
| 11 | Tennispalatsi | 4 | Loistel. | 38*3*58 | 6,6 | 10,2 |
| 12 | Esport Center | 3 | Loistel. | 38*3*58 | 6,6 | 10,2 |
| 13 | Esport Center | yph. | MH | 8*250 | 2,0 | 3,1 |
| 15 | Tali | 13 | Loistel. | 44*3*58 | 7,7 | 11,8 |
| 16 | Nallisport | 4 | NaH+MH | 2*(6*400+4*250) | 6,8 | 10,5 |
| 17 | Kerava | uusi | Loistel. | 36*3*58+12*2*58 | 7,7 | 11,8 |
| 18 | Kerava | vanha | Loistel. | 32*3*58+10*2*58 | 6,7 | 10,4 |
| 19 | Esport Center | 9 | NaH+MH | 2*(6*400+4*250) | 6,8 | 10,5 |
| 20 | Tapiolan tennisp. | kans. | Loistel. | 28*3*58+12*2*58 | 6,3 | 9,7 |
| 21 | Tapiolan tennisp. | DC-kenttä | Lois+MH | kuten 20 + 8*400 | 9,5 | 14,7 |
| 22 | Puistola | | Loistel. | 42*3*58 | 7,3 | 11,3 |
| 23 | Rajakylä | 2 | Loistel. | 42*3*58 | 7,3 | 11,3 |
| Pienin arvo | | | | | 2,0 | 3,1 |
| Suurin arvo | | | | | 11,2 | 17,3 |
| Keskiarvo | | | | | 7,1 | 11,0 |

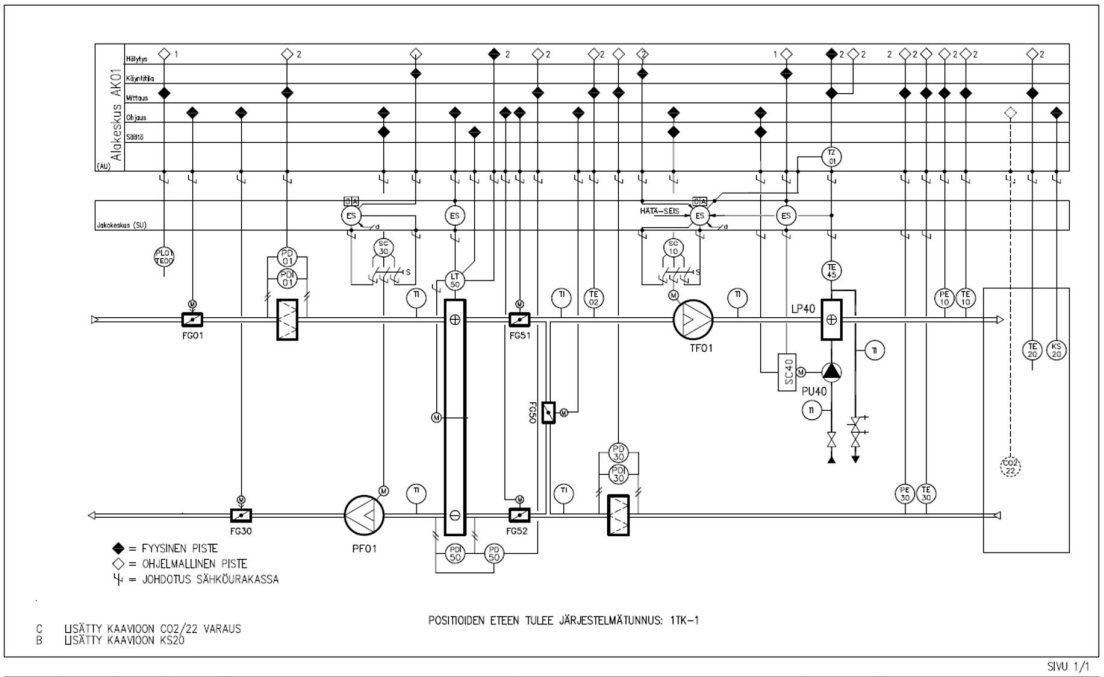
MH = Monimetallilamppuvalaisin
NaH = Suurpainenatriumvalaisin
Loistel. = Loistelamppuvalaisin

# Liite 2. Summahallin energian ja veden kulutus kuukausitasolla

| | Sähkön kulutus (kWh) | Veden kulutus (m3) | Lämmön kulutus (MWh) |
|---|---|---|---|
| **tammi.11** | 15771 | 10 | 64,377 |
| **helmi.11** | 11114 | 10 | 102,875 |
| **maalis.11** | 16304 | 71 | 37,576 |
| **huhti.11** | 15806 | 72 | 19,368 |
| **touko.11** | 11659 | 44 | 9,029 |
| **kesä.11** | 13199 | 56 | 4,712 |
| **heinä.11** | 6715 | 15 | 1,996 |
| **elo.11** | 15412 | 103 | 6,82 |
| **syys.11** | 18037 | 79 | 15,449 |
| **loka.11** | 19524 | 69 | 29,01 |
| **marras.11** | 19666 | 79 | 30,746 |
| **joulu.11** | 18821 | 60 | 39,564 |
| **tammi.12** | 17874 | 76 | 51,943 |
| **helmi.12** | 18198 | 64 | 54,669 |
| **maalis.12** | 26064 | 101 | 40,124 |
| **huhti.12** | 17399 | 86 | 21,638 |
| **touko.12** | 15626 | 46 | 9,171 |
| **kesä.12** | 14412 | 60 | 3,381 |
| **heinä.12** | 11503 | 23 | 1,966 |
| **elo.12** | 19465 | 89 | 3,199 |
| **syys.12** | 19313 | 88 | 12,26 |
| **loka.12** | 24699 | 77 | 22,937 |
| **marras.12** | 21859 | 88 | 28,795 |
| **joulu.12** | 19928 | 76 | 49,345 |
| **tammi.13** | 22564 | 105 | 51,921 |
| **helmi.13** | 20564 | 111 | 38,607 |
| **maalis.13** | 18036 | 130 | 41,275 |
| **huhti.13** | 20828 | 96 | 22,596 |
| **touko.13** | 16753 | 39 | 10,054 |
| **kesä.13** | 17538 | 57 | 5,35 |
| **heinä.13** | 14349 | 31 | 3,132 |
| **elo.13** | 17419 | 87 | 5,12 |
| **syys.13** | 21601 | 100 | 13,175 |
| **loka.13** | 20702 | 104 | 25,174 |

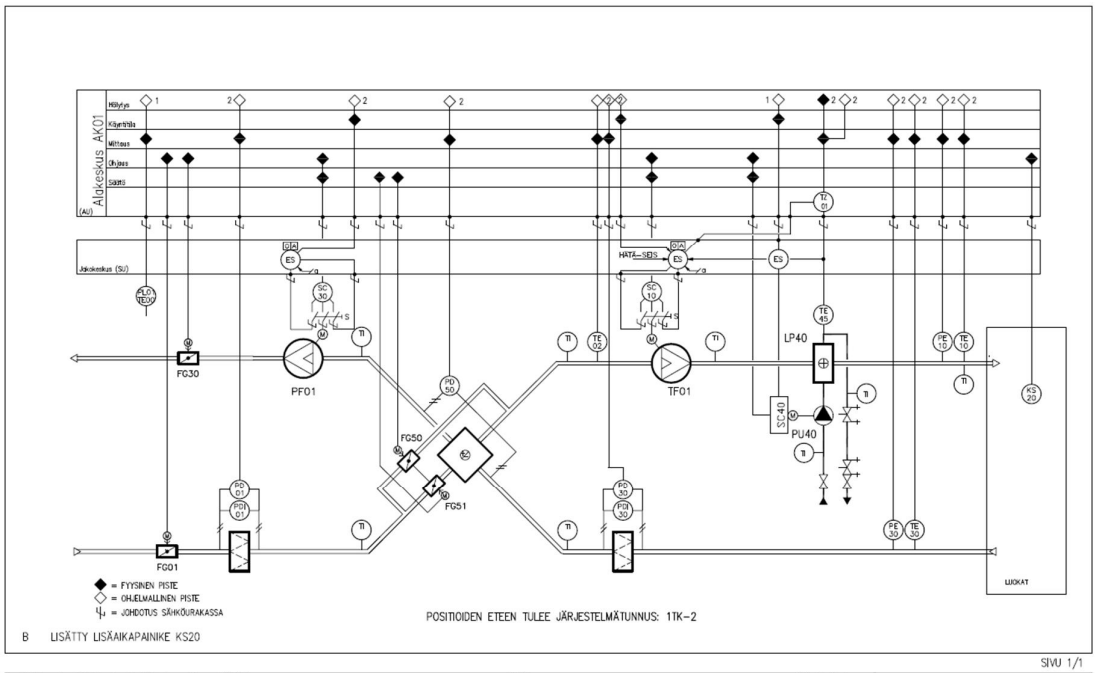
| | | | |
|---|---|---|---|
| **mar-ras.13** | 22981 | 128 | 32,778 |
| **joulu.13** | 18297 | 82 | 33,62 |
| **tammi.14** | 21629 | 140 | 48,308 |
| **helmi.14** | 24118 | 120 | 36,989 |
| **maa-lis.14** | 25550 | 176 | 32,777 |
| **huhti.14** | 19875 | 118 | 21,542 |
| **touko.14** | 20912 | 78 | 11,887 |
| **kesä.14** | 14410 | 56 | 6,338 |
| **heinä.14** | 16365 | 47 | 3,277 |
| **elo.14** | 18023 | 107 | 5,533 |
| **syys.14** | 21008 | 107 | 12,564 |
| **loka.14** | 23612 | 149 | 26,14 |
| **mar-ras.14** | 29453 | 161 | 35,078 |
| **joulu.14** | 20761 | 84 | 33,996 |
| **tammi.15** | 28980 | 148 | 43,898 |
| **helmi.15** | 25203 | 107 | 31,898 |
| **maa-lis.15** | 26001 | 148 | 29,575 |
| **huhti.15** | 19754 | 112 | 17,951 |
| **touko.15** | 14941 | 81 | 11,029 |
| **kesä.15** | 15694 | 69 | 8,73 |
| **heinä.15** | 11183 | 20 | 3,102 |

# Liite 3. Summahallin ilmanvaihdon automaatiokaaviot




SIVU 1/1

| RAU | 1901 | A-02 | C | Sisältö | Kohde | Vihertie 44 A | INSINÖÖRITOIMISTO POHJALAINEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUUNNITTELULAJI / SUUNNITTELIJA | PIRAVIN NUMERO / PÄIVÄYS | PIRTUSTUNNUS / PIRTUSA | MUUTOSTUNNUS / MUUTOSPÄIVÄYS | RAKENNUSAUTOMAATIO TOIMINTAKAAVIO 1TK-1 | K OY HONKAHALLI URHEILUPUISTONTIE 2 02200 ESPOO | 01620 VANTAA Puh. 020 787 9600 Fax. 020 787 9609 etun.sukun@iplan.fi | Vihertie 44 A, 01620 Vantaa p. 020 787 9600 fax. 020 787 9609 e-mail: etu@ipl.sukun.fi |
| AK | 26.07.2010 | AK | 15.02.2011 | | | | |




SIVU 1/1

| RAU | 1901 | A-03 | B | Sisältö | Kohde | Vihertie 44 A | INSINÖÖRITOIMISTO POHJALAINEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUUNNITTELULAJI / SUUNNITTELIJA | PIRAVIN NUMERO / PÄIVÄYS | PIRTUSTUNNUS / PIRTUSA | MUUTOSTUNNUS / MUUTOSPÄIVÄYS | RAKENNUSAUTOMAATIO TOIMINTAKAAVIO 1TK-2 | K OY HONKAHALLI URHEILUPUISTONTIE 2 02200 ESPOO | 01620 VANTAA Puh. 020 787 9600 Fax. 020 787 9609 etun.sukun@iplan.fi | Vihertie 44 A, 01620 Vantaa p. 020 787 9600 fax. 020 787 9609 e-mail: etu@ipl.sukun.fi |
| AK | 26.07.2010 | AK | 15.02.2011 | | | | |

# Liite 4. Summahallin lähtötilanteen mallinnuksen sisäänsyöttötiedot.

| EQUA SIMULATION TECHNOLOGY GROUP | | Sisäänsyöttötiedot | |
|---|---|---|---|
| **Projekti** | | **Rakennus** | |
| Malliinnus perustuu vesiradiaattorijärjestelmään 70/40 lämpötiloilla, joka liitetty kaukolämmön alakeskukseen. Mallinnus D3-2012 mukainen.<br>-Vuotoilma D3-2012 kohta 4.3.3 ja 2.3.2 (tasauslaskennan mukainen vuoto, 2-kerroksinen rakennus)<br>Mallinnusta täydennetty D5-2012 arvoilla seuraavasti:<br>-D5 2012 taulukko 3.1-3.3, rakenteiden väliset kylmäsillat (betoniset rakenteet)<br>-KL-alakeskuksen vuosihyötysuhde ja sähkönkäyttö, D5-2012 taulukko 6.6 (ja 6.7)<br>-Lämmitysjärjestelmän häviöt, D5-2012 kohta 6.2<br>-Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, D5-2012 taulukko 6.2<br>-Lämpimän käyttöveden häviöt D5-2012 kohta 6.3 (ei varaajaa). Kierron ja varastoinnin häviöistä 50 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. LKV kokonaishäviöistä 36 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä.(Jakojohdon häviöistä ei lämpöä hyödyksi)<br>-Lämpimän käyttöveden pumpun sähkönkulutus D5 kohdan 6.3.4 mukaisesti (kiertojohdon eristystaso 1,5*D) | | Mallin lattia-ala | 3041.3 $m^2$ |
| Asiakas | | Mallin tilavuus | 23378.4 $m^3$ |
| Vastuuhenkilö | Sander Toomla | Mallin maaperän pinta-ala | 2875.1 $m^2$ |
| Sijainti | Helsinki (Ref 2012) | Mallin vaipan ala | 7750.5 $m^2$ |
| Säätiedosto | HKi-Vantaa_Ref_2012 | Ikkuna/Vaippa | 1.9 % |
| Tapaus | Summahalli lähtötilanne 2 | Keskimääräinen U-arvo | 0.1986 $W/(K \cdot m^2)$ |
| Simuloitu | 9.10.2015 12:52:19 | Vaipan alan suhde tilavuuteen | 0.3315 $m^2/m^3$ |

**Tuulesta ja korkeuserosta laskettu vuotoilmamäärä** 8611.522 l/s at 50.000 Pa

| Rakennuksen vaippa | Ala [$m^2$] | U [$W/(K\ m^2)$] | U*A [W/K] | % kokon. |
|---|---|---|---|---|
| Seinät maanp. yläpuol. | 1832.99 | 0.24 | 437.48 | 28.42 |
| Seinät maanp. alapuol. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Katto | 2875.89 | 0.15 | 436.27 | 28.34 |
| Maavarainen lattia | 2875.08 | 0.09 | 278.77 | 18.11 |
| Lattia ulkoilmaan | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ikkunat | 150.49 | 1.91 | 287.44 | 18.67 |
| Ulko-ovet | 16.00 | 1.39 | 22.18 | 1.44 |
| Kylmäsillat | | | 77.23 | 5.02 |
| Yhteensä | 7750.45 | 0.20 | 1539.38 | 100.00 |

| Kylmäsillat | Pinta-ala tai pituus | Keskim lämmönjohtuvuus | Kokonais [W/K] |
|---|---|---|---|
| Ulkoseinä / alapohja | 38.57 m | 0.025 W/(K m) | 0.964 |
| Ulkoseinä / sisäseinä | 48.80 m | 0.015 W/(K m) | 0.732 |
| Ulkoseinä / ulkoseinä | 36.80 m | 0.079 W/(K m) | 2.915 |
| Ulkoikkunoiden ympärysmitta | 174.49 m | 0.030 W/(K m) | 5.235 |
| Ulko-ovien ympärysmitta | 48.00 m | 0.030 W/(K m) | 1.440 |
| Katto / ulkoseinät | 266.92 m | 0.090 W/(K m) | 24.023 |
| Alapohja / ulkoseinä | 219.47 m | 0.140 W/(K m) | 30.725 |
| Parvekkeen lattia / ulkoseinä | 0.00 m | 0.000 W/(K m) | 0.000 |
| Alapohja / sisäseinä | 390.72 m | 0.015 W/(K m) | 5.861 |
| Ulkokatto / sisäseinä | 355.64 m | 0.015 W/(K m) | 5.335 |
| Ulkoseinä, sisänurkka | 0.00 m | 0.000 W/(K m) | 0.000 |
| Ulkoseinät | 7750.31 $m^2$ | 0.000 W/(K $m^2$) | 0.000 |
| Ylimääräiset häviöt | - | - | 0.000 |
| Summa | - | - | 77.230 |

| Ikkunat | Ala [$m^2$] | U lasi [W/(K $m^2$)] | U karmi [W/(K $m^2$)] | U ikkuna [W/(K $m^2$)] | U*A [W/K] | g kokonaissäteilyn läpäisykerroin |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E | 21.53 | 1.90 | 2.00 | 1.91 | 41.12 | 0.68 |
| S | 107.46 | 1.90 | 2.00 | 1.91 | 205.24 | 0.68 |
| W | 21.51 | 1.90 | 2.00 | 1.91 | 41.08 | 0.68 |
| Yhteensä | 150.49 | 1.90 | 2.00 | 1.91 | 287.44 | 0.68 |

| Ilmanvaihtokone | Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa] | Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-] | Järjestelmän SFP-luku [kW/($m^3$/s)] | Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / minimi jäteilman lämpötila [-/C] |
|---|---|---|---|---|
| Sos. til. IV kone | 877.00/751.00 | 0.60/0.58 | 1.46/1.29 | 0.53/5.00 |
| Liikuntatilan IV | 822.00/741.00 | 0.64/0.63 | 1.28/1.18 | 0.73/1.00 |
| Poistoilmakone (ei tuloa) | 0.00/150.00 | 0.00/0.60 | 0.00/0.25 | 0.00/0.00 |

| LKV | L/(lattia-$m^2$,vuosi) | Kokonais, [l/s] |
|---|---|---|
| | 177.000 | 0.017 |

Läsnäoloaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi)

| Aikataulun nimi | Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (%:ia tilojen kokonaisalasta). |
|---|---|
| Liikuntatilan henkilömäärien aikataulu | 71.51 |
| Kayttoaste D3 2012, liikuntahalli | 23.43 |
| ALWAYS_OFF | 5.06 |

| Läsnäoloaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi) | |
|---|---|
| **Aikataulun nimi** | **Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (%:ia tilojen kokonaisalasta).** |
| Liikuntatilan henkilömäärien aikataulu | 71.51 |
| Kayttoaste D3 2012, liikuntahalli | 23.43 |
| ALWAYS_OFF | 5.06 |

| Valaistusaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi) | |
|---|---|
| **Aikataulun nimi** | **Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (%:ia tilojen kokonaisalasta).** |
| Liikuntatilan valaistuksen käyttöaikataulu | 71.51 |
| Valaistuksen käyttö 1/1 8-22 | 8.26 |
| sos.til käyttöaikataulu | 4.69 |
| Valaistuksen kayttoaste D3 2012, liikuntahalli | 2.91 |
| Kayttoaste D3 2012, liikuntahalli | 7.57 |
| ALWAYS_OFF | 5.06 |

| Laiteaikataulut tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi) | |
|---|---|
| **Aikataulun nimi** | **Osuus tiloista, jossa tämä aikataulu (%:ia tilojen kokonaisalasta).** |
| Valaistuksen käyttö 1/1 8-22 | 46.95 |
| sos.til käyttöaikataulu | 26.68 |
| ALWAYS_ON | 26.36 |

| Säädön asetusarvot tiloissa (Klikkaa laajentaaksesi / pienentääksesi) | |
|---|---|
| **Asetusarvon Maks/Min** | **Osuus tiloista, jossa nämä asetusarvot (%:ia tilojen kokonaisalasta).** |
| 25.00/19.00 | 71.51 |
| 25.00/16.00 | 2.91 |
| 25.00/21.00 | 20.94 |
| 30.00/18.00 | 4.64 |